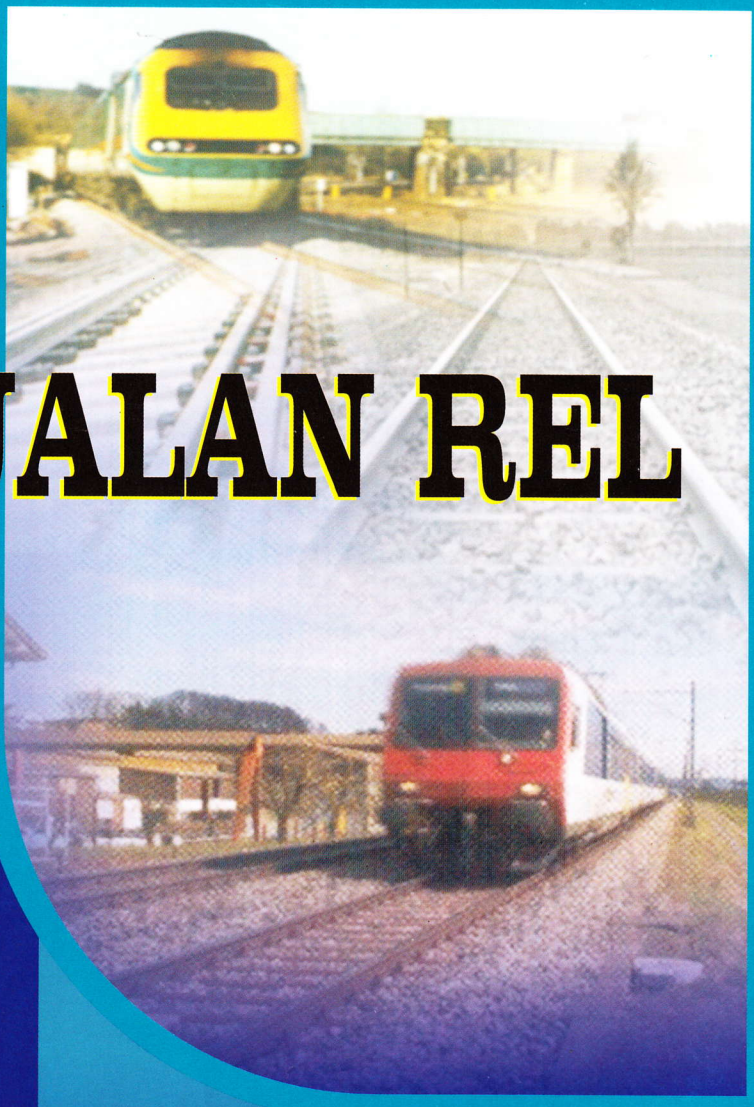


JALAN REL

Oleh :
Suryo Hapsoro Tri Utomo

BETA OFFSET

JALAN REL

Suryo Hapsoro Tri Utomo

Beta Offset

JALAN REL

Suryo Hapsoro Tri Utomo, Ir. Ph.D.
Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Cetakan Kedua
Juni 2009

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruh isi dalam bentuk apapun, baik cetak, photoprint, microfilm dan sebagainya.

ISBN: 978 – 979 – 8541 – 31 – 6

Hak cipta © 2006 pada Beta Offset Yogyakarta
Diterbitkan oleh : Beta Offset Yogyakarta
Perum FT-UGM No. 3 Seturan Caturtunggal
Depok Sleman Yogyakarta 55281
Telp./Fax: (0274) 485512

PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, buku Jalan Rel ini dapat tersusun.

Jalan rel adalah merupakan salah satu jenis prasarana transportasi darat yang penting. Hingga saat ini masih sangat diperlukan buku-buku tentang teknik jalan rel yang menggunaan bahasa Indonesia. Buku-buku dimaksud akan sangat membantu tenaga pengajar, mahasiswa, maupun tenaga teknik lainnya dalam memahami materi tentang teknik jalan rel.

Penulisan dan penerbitan buku Jalan Rel ini dimaksudkan untuk menambah perbendaharaan buku keteknikan jalan rel, baik bagi mahasiswa teknik sipil maupun para tenaga teknik yang bergerak di bidang jalan rel. Dalam buku Jalan Rel ini banyak diuraikan tentang peraturan dan pedoman yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero) dan ditambah dengan bahan-bahan yang diambil dari beberapa buku yang berkaitan dengan jalan rel, baik yang berasal dari Indonesia maupun dari negara lain.

Penulis menyadari bahwa mengingat keterbatasan yang ada pada penulis, buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik dari Para Pembaca akan penulis terima dengan senang hati dan dengan tangan terbuka.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya disampaikan kepada isteri dan anak-anak tercinta yang telah memberikan semangat dan teman-teman sejawat atas dorongannya, sehingga buku ini dapat terwujud. Semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Suryo Hapsoro Tri Utomo

DAFTAR ISI

PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

BAB I. PENDAHULUAN 1

1.1 PERANAN TRANSPORTASI 1

1.1.1 Peranan dalam Aspek Sosial 1

1.1.2 Peranan dalam Aspek Ekonomi 2

1.1.3 Peranan dalam Aspek Lingkungan 3

1.1.4 Peranan dalam Aspek Politik dan Pertahanan-Keamanan 4

1.2 PERKEMBANGAN TRANSPORTASI KERETA API ... 5

1.2.1 Kelahiran dan Perkembangan Transportasi Kereta Api 5

1.2.2 Sejarah Kereta Api Indonesia 6

1.3 KARAKTERISTIK TRANSPORTASI KERETA API 11

1.3.1 Keunggulan dan Kelemahan Transportasi . Kereta Api 11

1.3.2 Perbandingan antara Jalan Raya dan Jalan Rel 12

1.3.3 Perbandingan Karakteristik antara Jalan Rel, Jalan Raya dan Transporasi Udara 12

BAB II. JALAN REL, PENGELOMPOKAN DAN DIMENSI RUANGNYA 15

2.1 PENGANTAR 15

2.2 STRUKTUR JALAN REL 15

2.3 PENGELOMPOKAN JALAN REL 19

2.3.1 Pengelompokan Menurut Lebar Sepur 19

2.3.2 Pengelompokan Menurut Kecepatan Maksimum 21

2.3.3 Pengelompokan Menurut Kelandaian 22
2.3.4 Pengelompokan Menurut Jumlah Jalur 22
2.3.5 Pengelompokan Menurut Kelas jalan Rel 23
2.4 STANDAR JALAN REL DI INDONESIA 24
2.5 RUANG BEBAS DAN RUANG BANGUN 25
2.5.1 Ruang Bebas 25
2.5.2 Ruang Bangun 29
2.6 RUMPUN KERETA API 29

BAB III REL DAN BANTALAN 31
3.1 PENGANTAR 31
3.2 REL 31
3.2.1 Potongan Melintang Rel 33
3.2.2 Tipe dan Karakteristik Rel 34
3.2.3 Bahan dan Kekuatan Rel 34
3.2.4 Macam Rel 36
3.2.5 Jenis Rel 37
3.2.6 Kedudukan Roda Pada Rel 40
3.2.7 Dasar Perhitungan Tipe Rel yang Digunakan 43
3.2.8 Sambungan Rel 43
3.3 BANTALAN 57
3.3.1 Fungsi Bantalan 57
3.3.2 Bentuk Bantalan 57
3.3.3 Jenis Bantalan 58
3.3.4 Posisi Bantalan Terhadap Balas 67
3.3.5 Jarak Bantalan 68

BAB IV PENAMBAT REL DAN BALAS 69
4.1 PENGANTAR 69
4.2 PENAMBAT REL 69
4.2.1 Umum 69
4.2.2 Jenis Penambat Rel 69
4.2.3 Penggunaan Penambat Rel 73

4.2.4 Tipe Penambat Rel 73
4.2.5 Persyaratan Bahan 80
4.3 BALAS 81
4.3.1 Letak dan Fungsi Balas 81
4.3.2 Ketebalan Lapisan Balas 83
4.3.3 Balas Atas 84
4.3.4 Balas Bawah 86
4.3.5 Pemadatan 89
4.3.6 Beberapa Masalah Pada Balas dan Penanganannya . 90

BAB V TANAH DASAR DAN BADAN JALAN REL 97
5.1 PENGANTAR 97
5.2 TANAH DASAR 97
5.2.1 Fungsi Tanah Dasar 97
5.2.2 Persyaratan Bahan Tanah Dasar 98
5.3 BADAN JALAN 101
5.3.1 Umum 101
5.3.2 Timbunan 102
5.3.3 Galian dan Kondisi Asli 110
5.4 PERBAIKAN TANAH 110

BAB VI DRAINASI JALAN REL 113
6.1 PENGANTAR 113
6.2 KEGUNAAN DAN JENIS DRAINASI 113
6.3 DRAINASI PERMUKAAN 114
6.3.1 Maksud dan Tujuan 114
6.3.2 Jenis Drainasi Permukaan 114
6.3.3 Data yang Diperlukan untuk Perencanaan dan Perancangan 114
6.3.4 Bentuk 114
6.3.5 Bahan 115
6.3.6 Kemiringan dan Kecepatan Aliran Air 116
6.3.7 Perancangan Saluran Terbuka 116
6.3.8 Perancangan Saluran Melintang dan Gorong-gorong 118

6.4 DRAINASI BAWAH TANAH 118
6.4.1 Maksud dan Tujuan 118
6.4.2 Perancangan 119
6.4.3 Data yang Diperlukan untuk Perencanaan dan Perancangan 119
6.5 DRAINASI LERENG 120
6.5.1 Maksud dan Tujuan 120
6.5.2 Jenis Drainasi Lereng 120
6.5.3 Bahan 122
6.5.4 Kemiringan 122
6.6 DRAINASI DI EMPLASEMEN 122

BAB VII. GEOMETRI JALAN REL 123
7.1 PENGANTAR 123
7.2 LEBAR SEPUR 123
7.3 LENGKUNG HORISONTAL 124
7.3.1 Lengkung Lingkaran 125
7.3.2 Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Transisi 130
7.3.3 Lengkung Transisi 131
7.3.4 Lengkung S 134
7.4 PERCEPATAN SENTRIFUGAL 135
7.5 PENINGGIAN REL 136
7.5.1 Peninggian Normal 136
7.5.2 Peninggian Minimum 137
7.5.3 Peninggian Maksimum 138
7.5.4 Penggunaan Peninggian Rel 139
7.6 PERLEBARAN SEPUR 142
7.7 KELANDAIAN 147
7.7.1 Landai Penentu 148
7.7.2 Landai Curam 148
7.8 LENGKUNG VERTIKAL 150

BAB VIII. WESEL DAN PERSILANGAN 157
8.1 PENGANTAR 157
8.2 WESEL 157
8.2.1 Jenis Wesel 157
8.2.2 Komponen Wesel 159
8.2.3 Panjang Wesel 164
8.2.4 Bantalan pada Wesel 164
8.2.5 Rel dan Geomeri pada Wesel 165
8.2.6 Kecepatan Ijin dan Sudut Simpang Arah 166
8.2.7 Skema Wesel 166
8.2.8 Perancangan Wesel 168
8.3 PERSILANGAN 171
8.3.1 Persilangan Tajam 171
8.3.2 Persilangan Tumpul dan Persilangan Siku-siku 172
8.4 WESEL INGGRIS 174
8.4.1 Wesel Inggris Penuh 174
8.4.2 Wesel Inggris Setengah 175
8.5 PERSILANGAN ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN RAYA 175
8.5.1 Persilangan dengan Penutup 176
8.5.2 Persilangan tanpa Penutup 177
8.5.3 Perancangan Struktur Persilangan Jalan Rel dengan Jalan Raya 182

BAB IX STASIUN DAN EMPLASEMEN 185
9.1 PENGANTAR 185
9.2 KATEGORI STASIUN 186
9.2.1 Kategori Stasiun Menurut Fungsi 186
9.2.2 Kategori Stasiun Menurut Ukuran 186
9.2.3 Kategori Stasiun Menurut Letak 187
9.2.4 Kategori Stasiun Menurut Bentuk 190
9.3 EMPLASEMEN 192
9.3.1 Emplasemen Stasiun Kecil 192
9.3.2 Emplasemen Stasiun Sedang 192

9.3.3 Emplasemen Stasiun Besar 193
9.3.4 Emplasemen Barang 193
9.3.5 Emplasemen Langsir 194

BAB X PERENCANAAN DAN PERANCANGAN 197
10.1 PENGANTAR 197
10.2 ALINEMEN 197
10.3 SURVAI JALUR DAN LOKASI 198
10.4 PENYELIDIKAN GEOTEKNIK 199
10.5 STUDI DRAINASI 201
10.6 GAMBAR TEKNIK PERENCANAAN DAN PERANCANGAN 201

BAB XI PEMBANGUNAN DAN PERAWATAN 203
11.1 PENGANTAR 203
11.2 PEMBANGUNAN 203
11.2.1 Pembangunan Badan Jalan Rel dan Tanah Dasar . 204
11.2.2 Pemasangan Struktur Bagian Atas 205
11.2.3 Pembangunan Balas 206
11.3 PERAWATAN 208
11.3.1 Perawatan Rutin 208
11.3.2 Perawatan Khusus 211
11.4 BEBERAPA ALAT-ALAT BERAT UNTUK PEKERJAAN PEMBANGUNAN DAN PERAWATAN 211

DAFTAR PUSTAKA 215

Bab I

PENDAHULUAN

1.1 PERANAN TRANSPORTASI

Transportasi merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Terdapat hubungan erat antara transportasi dengan jangkauan dan lokasi kegiatan manusia, barang-barang dan jasa. Dalam kaitannya dengan kehidupan dan kegiatan manusia, transportasi mempunyai peranan yang signifikan dalam aspek-aspek sosial, ekonomi, lingkungan, politik dan pertahanan-keamanan.

1.1.1 Peranan dalam Aspek Sosial

Pergerakan manusia dan barang-barang sudah lama ada bahkan sudah seusia dengan sejarah manusia itu sendiri. Manusia jaman dahulu melakukan perpindahan dari satu tempat ke tempat lainnya untuk memenuhi kebutuhannya sambil membawa barang milik mereka yang relatif sedikit. Perpindahan yang sangat sederhana tersebut merupakan awal dari cara hidup sekarang, yaitu manusia bepergian dengan berbagai ragam moda transportasi baik melalui darat, sungai, laut, maupun udara. Sebagian besar penduduk dari negara yang sudah maju setiap hari bepergian dari suatu tempat ke tempat yang lain menggunakan suatu kendaraan untuk bekerja, berbelanja, sekolah, maupun untuk kegiatan sosial lainnya. Bertambahnya kecepatan kendaraan transportasi, beragamnya moda transportasi dan makin terjangkaunya biaya untuk transportasi mengakibatkan bertambah banyaknya variasi kegiatan dan jangkauan manusia.

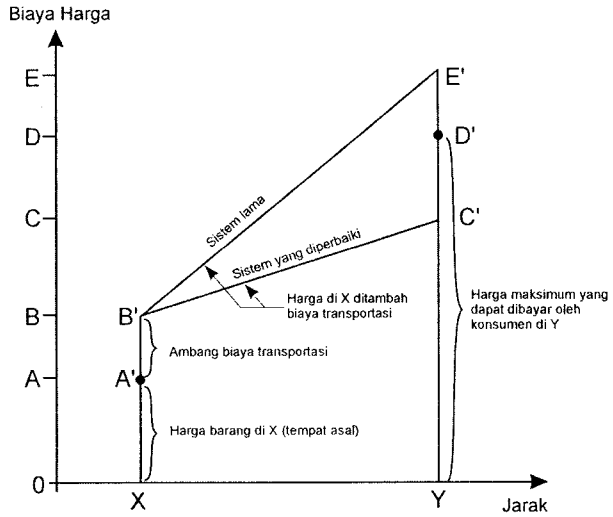
1.1.2 Peranan dalam Aspek Ekonomi

Peranan dalam aspek ekonomi di sini terutama berhubungan dengan produksi, distribusi dan konsumsi barang-barang dan jasa yang mempunyai nilai bagi manusia. Permukaan bumi kita ini tidak secara seragam berisi sumber-sumber alam yang sama, tidak ada lokasi dipermukaan bumi ini yang dapat memenuhi segala kebutuhan manusia terhadap bahan-bahan sumber alam. Sehingga perlu adanya transportasi untuk mengangkut bahan-bahan yang dibutuhkan tersebut. Begitu pula untuk barang-barang lainnya yang dibutuhkan oleh manusia, untuk memenuhi keperluannya. Contoh sederhana ialah seperti penjelasan berikut.

Suatu barang produksi yang diperlukan, akan dikonsumsi oleh penduduk apabila tersedia dalam harga yang cukup rendah dan sesuai. Misalnya barang itu diproduksi di lokasi X dan tersedia dengan harga OA (periksa Gambar 1.1). Barang tersebut mungkin dikonsumsi oleh penduduk yang berada di lokasi Y yang berjarak XY dari lokasi X, dan harga maksimum yang mungkin dibayar oleh penduduk di lokasi Y ialah sebesar OD. Biaya transportasi satu unit barang tersebut dari X ke Y pada suatu sistem transportasi ialah sebesar AE, yang terdiri atas biaya tetap (beban kendaraan, dokumen dan sebagainya) sebesar AB dan biaya tiap km yang besarnya sama dengan kemiringan B'E'. Dengan sistem transportasi ini maka biaya total di lokasi Y yaitu OE. Oleh karena harga maksimum satu unit barang yang mungkin dibayar oleh penduduk di lokasi Y ialah sebesar OD maka barang tersebut tidak akan laku bila dipasarkan di lokasi Y. Apabila Y merupakan satu-satunya lokasi yang mungkin untuk konsumsi barang tersebut, maka tidak akan menguntungkan bila diproduksi di lokasi X. Dengan perbaikan sistem transportasi (misal peningkatan kelas jalan, pengembangan transportasi jalan rel, dsb), akan dapat mengurangi biaya per satuan jarak untuk transportasi dari X ke Y, menjadi misalnya seperti yang ditunjukan oleh kemiringan B'C', sehingga biaya total akan turun menjadi OC yang lebih rendah dari harga maksimum (OD), sehingga dapat terjual dan dikonsumsi oleh penduduk di lokasi Y yang ditransportasikan dari tempat produksinya di lokasi X.

Dalam aspek ekonomi, berkaitan dengan waktu dan peran transportasi dapat diberikan contoh *supply* terompet untuk malam tahun baru. Apabila terompet dapat di*supply* pada saat yang tepat yaitu menjelang malam tahun baru, maka terompet tersebut dapat laku

terjual. Tetapi apabila terompet tersebut di*supply* setelah malam tahun baru, nilainya akan menjadi sangat kecil atau bahkan tidak laku. Pada suatu kegiatan produksi, salah satu tahapan produksi mungkin dihasilkan pada tempat yang cukup jauh dari tahapan produksi berikutnya. Dalam hal demikian transportasi merupakan penghubung yang sangat penting antara tahapan-tahapan tersebut.



Gambar 1.1 Pengaruh sistem transportasi terhadap harga

1.1.3 Peranan dalam Aspek Lingkungan

Dalam aspek lingkungan pada umumnya pengaruh transportasi dianggap negatif, yaitu menghasilkan polusi udara, kebisingan dan getaran, dan penggunaan energi. Khusus untuk transportasi kereta api dan perbandingannya terhadap moda transportasi dapat dijelaskan berikut.

Teknologi sarana dan prasarana kereta api terus berkembang termasuk dalam mengatasi masalah polusi, kebisingan dan getaran. Polusi udara, baik oleh gas buang maupun partikel dan kebisingan serta getaran oleh kereta api dibandingkan dengan moda transportasi kendaraan bermotor darat lainnya relatif kecil, apalagi untuk jenis kereta listrik; terlebih lagi bila dihitung berdasarkan jumlah penumpang/barang yang terangkut.

Dalam hal penggunaan energi, penggunaan energi untuk kereta api relatif kecil dibandingkan dengan moda transportasi yang lain. Penggunaan energi oleh moda transportasi dapat dipahami melalui besarnya konsumsi energi bahan bakar minyak (BBM) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.1., dan besarnya daya yang diperlukan oleh moda transportasi untuk memindahkan satu ton barang (Tabel 1.2.), di bawah ini:

Tabel 1.1 Konsumsi penggunaan energi BBM pada berbagai moda transportasi

No.	Moda Transportasi	Volume Angkut (orang)	Konsumsi Energi BBM (liter/km)	Konsumsi Energi BBM (liter/orang)
1.	Kereta Api	1500	3	0,002
2.	Pesawat Terbang	500	40	0,08
3.	Kapal Laut	1500	10	0,006

Tabel 1.2 Besarnya daya yang diperlukan oleh moda transportasi untuk memindahkan satu ton barang

Moda Transportasi	Daya untuk memindahkan satu ton barang (tenaga kuda)
Pesawat Jet	300
Truk jalan raya	20
Kapal laut	1,5
Kereta Api	3

1.1.4 Peranan dalam Aspek Politik dan Pertahanan-Keamanan

Dengan mudahnya hubungan antar daerah, rakyat suatu negara akan lebih merasa berada dalam satu kesatuan. Mudahnya hubungan antar daerah juga akan menjadikan lebih terjaminnya pertahanan negara dan pertahanan bersama, serta rasa aman rakyat.

Sejarah mencatat peran besar kereta api dalam pertahanan dan kebutuhan militer. Pada bulan Agustus 1914 ketika pecah perang dunia pertama, di Jerman selama 4 hari dikerahkan 18000 kereta api untuk mengangkut 3,8 juta tentara lengkap dengan perlengkapannya. Hal serupa terjadi di Belgia tanggal 28 September 1938 dikerahkan 385 kereta api untuk mengangkut 225 ribu tentara dengan perlengkapan militernya. Betapa pentingnya transportasi dalam perang tergambar dari pernyataan Menteri Pertahanan Uni Sovyet pada tahun 1930'an K.E.Vorosjilov yang mengatakan bahwa transportasi adalah saudara kembar angkatan perang. Dalam perjuangan kemerdekaan negara Republik Indonesia kereta api sangat berperan dan berjasa (lihat Sejarah Kereta Api Indonesia).

1.2 PERKEMBANGAN TRANSPORTASI KERETA API

1.2.1 Kelahiran dan Perkembangan Transportasi Kereta Api

Perkembangan transportasi kereta api menggunakan jalan rel bermula dari dikembangkannya usaha untuk meningkatkan pelayanan transportasi yang meliputi antara lain kuantitas pengangkutan, kecepatan perjalanan, dan keawetan sarana-prasarananya. Awal mula terciptanya jalan rel bisa dikatakan bermula di Inggris pada tahun 1630, yaitu dengan adanya pengangkutan batubara. Hasil penambangan batubara semula diangkut dengan kereta yang ditarik kuda. Terdapat dua masalah berkaitan dengan penggunaan kereta yang ditarik kuda ini, yaitu:

a. jalan yang dilalui cepat rusak,
b. kapasitas angkut yang rendah.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, pada jalan yang dilalui dipasang balok-balok kayu membujur, dengan maksud dapat memberikan landasan jalan yang lebih kuat dan memperkecil hambatan antara roda dan permukaan jalannya. Dengan pemasangan balok-balok kayu membujur tersebut kapasitas angkut seekor kuda yang menarik kereta bisa meningkat.

Balok-balok kayu membujur ini ternyata masih juga cepat rusak, baik oleh cuaca maupun oleh beban kereta, maka perkembangan berikutnya ialah bagian atas balok kayu diberi lapisan yang lebih kuat yaitu besi. Perkembangan berikutnya balok kayu dimaksud diganti seluruhnya dengan besi. Meskipun sudah menggunakan batang besi, tetapi dengan masih digunakannya bentuk roda biasa, masih terjadi melesetnya roda keluar dari batang besi dimaksud. Untuk menghindari melesetnya roda tersebut maka roda-roda diberi flens (*flange*), ini terjadi pada tahun 1789. Akibat dari penggunaan flens poda roda ini mengakibatkan kendaraannya tidak dapat digunakan di jalan raya

biasa, sejak saat itulah terjadi perbedaan antara jalan raya dan jalan yang menggunakan batang besi atau jalan rel.

Pada awal abad XIX kereta di atas rel mulai ditarik oleh kendaraan yang dijalankan dengan mesin (lokomotif) uap. Pada masa-masa tersebut jalan rel mulai pula dibangun di beberapa negara, seperti Perancis, Jerman, Belgia, Belanda, Rusia, Austria, Indonesia (lihat Sejarah Kereta Api Indonesia). Perkembangan kereta api baik sarana maupun prasarananya terus berjalan. Pengembangan dalam hal kecepatan, pelayanan, keselamatan, efisiensi, dan kenyamanan terus pula dilakukan, hal ini seiring pula dengan perekembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Lokomotif diesel-listrik mulai digunakan di New Jersey tahun 1925, kereta diesel-listrik untuk penumpang bentuk *streamline* mulai meluncur di Amerika tahun 1934.

Perkembangan terus berjalan termasuk dalam rancang bangun, teknologi komunikasi dan informasi, dan teknologi bahan. Hal ini membawa pula perkembangan sarana dan prasarana kereta api, misalnya kereta api super cepat, kereta api *monorail* (dengan satu rel), kereta api levitasi magnetik (maglev), kereta api pengangkut berat. Begitu pula perkembangan dalam teknologi penggeraknya, misalnya lokomotif diesel, diesel-listrik dan penggerak listrik. Teknologi persinyalan juga berkembang sehingga tidak hanya digunakan sinyal mekanis tetapi juga sinyal elektris.

1.2.2 Sejarah Kereta Api Indonesia

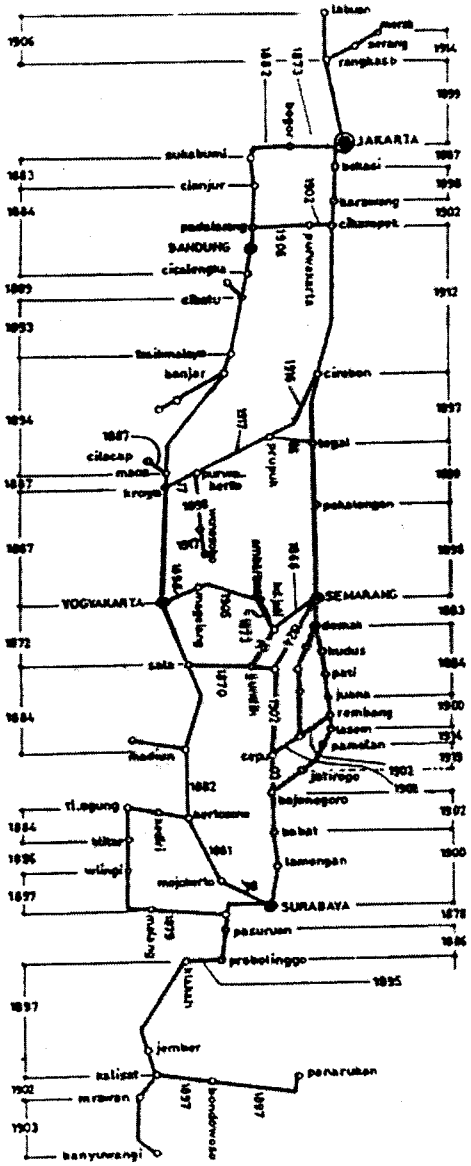
Dapat dikatakan bahwa secara *de-facto* hadirnya kereta api di Indonesia ialah dengan dibangunnya jalan rel sepanjang 26 km pada lintas Kemijen-Tanggung yang dibangun oleh NV.Nederlandsch Indische Spoorweg Maatschappij (NIS). Pembangunan jalan rel tersebut dimulai dengan pencangkulan pertama pembangunan badan jalan rel oleh Gubernur Jenderal Belanda Mr. L.A.j.Baron Sloet Van De Beele pada hari Jum'at tanggal 17 Juni 1864. Jalur kereta api lintas Kemijen-Tanggung mulai dibuka untuk umum pada hari Sabtu, 10 Agustus 1867. Sedangkan landasan *de-jure* pembangunan jalan rel di Jawa ialah disetujuinya undang-undang pembangunan jalan rel oleh pemerintah Hindia Belanda tanggal 6 April 1875.

Dengan telah adanya undang-undang pembangunan jalan rel yang dikeluarkan oleh pemerintah Hindia Belanda dan dengan berhasilnya

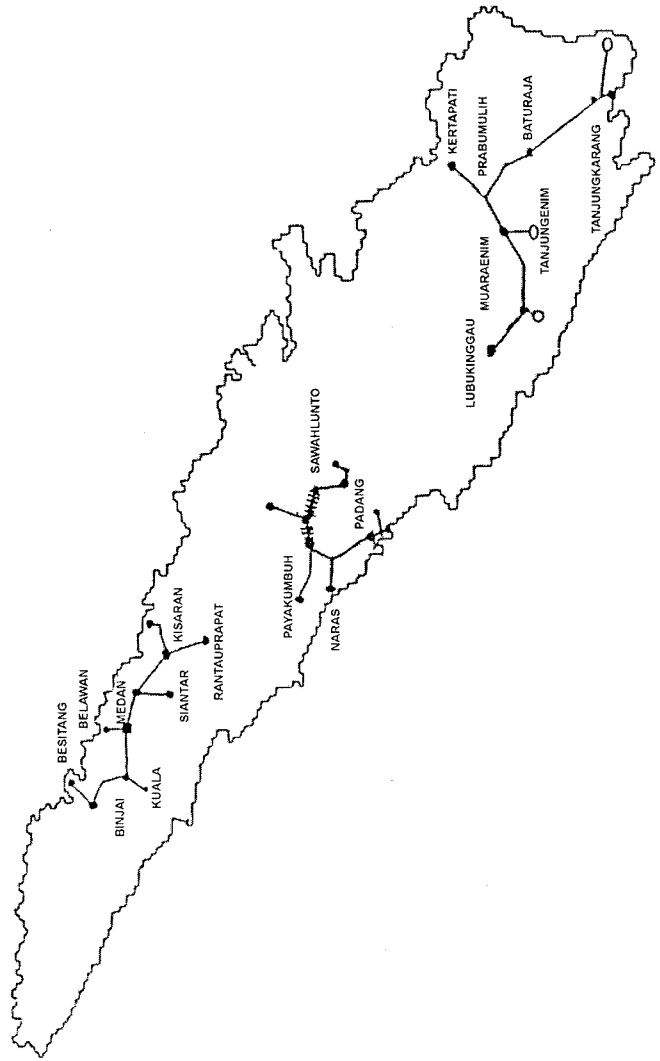
operasi kereta api lintas Kemijen-Tanggung (yang kemudian pembangunannya diteruskan hingga ke Solo), pembangunan jalan rel dilakukan di beberapa tempat bahkan hingga di luar Jawa, yaitu di Sumatera dan Sulawesi. Gambar 1.2. menunjukkan jaringan jalan rel penting di Pulau Jawa berikut tahun pembangunannya.

Namun sejarah jalan rel di Indonesia mencatat adanya masa yang memprihatinkan yaitu pada masa pendudukan Jepang beberapa jalan rel di Pulau Sumatera dan Pulau Sulawesi serta sebagian lintas cabang di Pulau Jawa dibongkar untuk diangkut dan dipasang di Burma (Myanmar). Bahkan pemindahan jalan rel ini juga disertai dengan dialihkannya sejumlah tenaga kereta api Indonesia ke Myanmar. Akibat dari tindakan Jepang tersebut ialah berkurangnya jaringan jalan rel di Indonesia. Informasi tentang jaringan jalan rel yang ada saat ini di Pulau Sumatera dapat dilihat pada Gambar 1.3. Data tahun 1999 memberikan informasi bahwa panjang jalan rel di Indonesia ialah 4615,918 km, terdiri atas Lintas Raya 4292,322 km dan Lintas Cabang 323,596 km.

Dalam masa perjuangan kemerdekaan Republik Indonesia peran kereta api sangat besar. Sejarah mencatat peran kereta api dalam distribusi logistik untuk keperluan perjuangan dari Ciroyom (Bandung) ke pedalaman Jawa Tengah, mobilisasi prajurit pejuang di wilayah Jogjakarta-Magelang-Ambarawa. Hijrahnya pemerintahan Republik Indonesia dari Jakarta ke Jogjakarta tahun 1946 tidak lepas pula dari peran kereta api. Tanggal 3 Januari 1946 rombongan Presiden Soekarno berhasil meninggalkan Jakarta menggunakan kereta api, tiba di Jogjakarta tanggal 4 Januari 1946 pukul 09.00 disambut oleh Sri Sultan Hamengku Buwono IX.



Gambar 1.2. Jaringan jalan rel penting di Pulau Jawa berikut tahun pembangunannya (sumber: subarkah, 1981)



Gambar 1.3. Peta jaringan jalan rel di Pulau Sumatera

Sejarah perjuangan Bangsa Indonesia mencatat pengambilalihan kekuasan perkereta-apian dari pihak Jepang oleh Angkatan Moeda Kereta Api (AMKA) pada peristiwa bersejarah tanggal 28 September 1945. Pengelolaan kereta api di Indonesia telah ditangani oleh institusi yang dalam sejarahnya telah mengalami beberapa kali perubahan. Institusi pengelolaan dimulai dengan nasionalisasi seluruh perkereta-apian oleh Djawatan Kereta Api Republik Indonesia (DKARI), yang kemudian namanya dipersingkat dengan Djawatan Kereta Api (DKA), hingga tahun 1950. Institusi tersebut berubah menjadi Perusahaan Negara Kereta Api (PNKA) pada tahun 1963 dengan PP. No.22 tahun 1963, kemudian dengan PP. No.61 tahun 1971 berubah menjadi Perusahaan Jawatan Kereta Api (PJKA). Perubahan kembali terjadi pada tahun 1990 dengan PP No.57 tahun 1990 status perusahaan jawatan diubah menjadi perusahaan umum sehingga PJKA berubah menjadi Perusahaan Umum Kereta Api (Perumka). Perubahan besar terjadi pada tahun 1998, yaitu perubahan status dari Perusahaan Umum Kereta Api menjadi PT Kereta Api (persero), berdasarkan PP. No. 19 tahun 1998.

Perkembangan dalam dunia kereta api di Indonesia terus berlangsung, begitu pula dengan teknologinya. Tanggal 31 Juli 1995 diluncurkan KA Argo Bromo (dikenal juga sebagai KA JS 950) Jakarta-Surabaya dan KA Argo Gede (JB 250) Jakarta-Bandung. Peluncuran kedua kereta api tersebut menandai apresiasi perkembangan teknologi kereta api di Indonesia dan sekaligus banyak dikenal sebagai embrio teknologi nasional. Saat ini selain kedua KA "Argo" tersebut di atas, telah beroperasi pula KA Argo Lawu, KA Argo Dwipangga, KA Argo Wilis, KA Argo Muria.

Kemampuan dalam teknologi perkereta-apian di Indonesia juga terus berkembang baik dalam prasarana jalan rel maupun sarana kereta apinya. Dalam rancang bangun, peningkatan dan perawatan kereta api, perkembangan kemampuan tersebut dapat dilihat di PT. Inka (Industri Kereta Api) di Madiun, dan Balai Yasa yang terdapat di beberapa daerah.

1.3 KARAKTERISTIK TRANSPORTASI KERETA API

1.3.1 Keunggulan dan Kelemahan Transportasi Kereta Api

Moda transportasi kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai salah satu moda transportasi untuk orang dan barang mempunyai karakteristik yang berkaitan dengan keunggulan dan kelemahan. Karakteristik dimaksud ialah seperti uraian berikut.

Keunggulan

a) mempunyai/memungkinkan jangkauan pelayanan transportasi barang dan orang untuk jarak pendek, sedang, dan jauh dengan kapasitas angkut yang besar,

b) penggunaan energi relatif kecil (lihat Peranan Transportasi dalam Aspek Lingkungan),

c) kehandalan keselamatan perjalanan lebih baik dibandingkan dengan moda lain. Hal ini karena kereta api mempunyai jalur tersendiri yaitu berupa jalan rel, dan fasilitas terminal yang tersendiri pula sehingga tidak terpengaruh oleh kegiatan lalulintas transportasi non-kereta api, yang dengan demikian terjadinya konflik dengan moda lain sangat kecil,

d) mempunyai kehandalan dalam ketepatan waktu. Hal ini karena kereta api mempunyai jalur sendiri sehingga memungkinkan kecepatan relatif konstan, sehingga memudahkan dalam pengaturan waktu perjalanan. Perjalanannya tidak begitu terpengaruh oleh keadaan cuaca,

e) ekonomis dalam hal penggunaan ruang untuk jalurnya dibandingkan dengan moda transportasi darat lainnya,

f) polusi, getaran, dan kebisingan relatif kecil (lihat Peranan Transportasi dalam Aspek Lingkungan),

g) sangat baik untuk pelayanan khusus dalam aspek pertahanan-keamanan, karena mempunyai kapasitas angkut yang besar dan dapat dilaksanakan tanpa banyak memberikan dampak sosial,

h) kecepatan perjalanan dapat bervariasi dari yang lambat (kereta api barang) sampai cepat, dan

i) mempunyai aksesibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan transportasi air dan udara.

Kelemahan

a) memerlukan fasilitas sarana-prasarana yang khusus (tersendiri) yang tidak bisa digunakan oleh moda transportasi yang lain. Sebagai konsekwensinya perlu disediakan alat angkut yang khusus yaitu lokomotif dan gerbong,

b) karena fasilitas sarana-prasarana dan pengelolaan yang tersendiri (khusus), maka membutuhkan investasi, biaya operasi, biaya perawatan, dan tenaga yang cukup besar, dan

c) pelayanan barang dan penumpang hanya terbatas pada jalurnya.

1.3.2 Perbandingan antara Jalan Raya dan Jalan Rel

Telah dijelaskan di depan (pada 1.2 Perkembangan Transportasi Kereta Api) bahwa sejak digunakannya flens pada roda kereta api maka terjadilah perbedaan antara jalan raya dan jalan rel. Setelah melalui perjalanan sejarah yang panjang termasuk dalam perkembangan teknologi dan pengoperasiannya dapat dilihat perbandingan karakteristik yang nyata antara transportasi jalan raya dan transportasi jalan rel dalam berbagai hal. Perbandingan karakteristik antara jalan raya dan jalan rel dimaksud dapat ditunjukkan dengan Tabel 1.3.

1.3.3 Perbandingan Karakteristik antara Transportasi Jalan Rel, Transportasi Jalan Raya, dan Transportasi Udara

Dari Carpenter (1996) dapat kita ambil perbandingan karakteristik seperti pada Tabel 1.4.

Tabel 1.3 Perbandingan antara Jalan Raya dan Jalan Rel

Item	Jalan Raya	Jalan Rel
Bahan jalur	Perkerasan fleksibel, perkerasan kaku, atau perkerasan *composite.*	Berupa batang di atas fondasi elastis
Lalu lintas	Penggunanya berbagai jenis lalu lintas, dari pejalan kaki sampai kendaraan berat.	Jalur jalan rel disediakan untuk pergerakan kereta api yang terjadwal.
Tegangan	Tegangan diteruskan ke tanah dasar melalui formasi lapis perkerasan.	Beban berat dari lokomotif dan gerbong diterima oleh sepur, sehingga struktur sepur harus sangat kuat.
Kecepatan	Karena digunakan oleh berbagai jenis kendaraan, maka kecepatan kendaraan harus dibatasi	Karena tidak ada hambatan pada jalurnya, maka kecepatan yang relatif lebih tinggi lebih dapat dicapai.
Gesekan	Kendaraan berjalan karena adanya gesekan antara roda (karet) dengan permukaan jalan. Gesekannya tinggi.	Kereta api berjalan karena adanya gesekan antara kepala rel (baja) dengan roda baja. Gesekannya relatif rendah, yaitu kira-kira 20% gesekan antara roda (karet) kendaraan dan permukaan jalan.
Perpindahan jalur	Perpindahan jalur jalan raya melalui pertemuan atau persilangan jalan.	Perpindahan jalur melalui peralatan khusus, dikenal sebagai Wesel.

Tabel 1.4 Perbandingan karakteristik antara Transportasi Jalan Rel, Transportasi Jalan Raya, dan Transportasi Udara

No.	Karakteristik	Transportasi Jalan Rel	Transportasi Jalan Raya	Transportasi Udara
1.	Dimensi pergerakan	Satu (diarahkan oleh rel)	Dua	Tiga
2.	Sinyal lalulintas	Penuh	Sebagian (pada beberapa pertemuan)	Internal (radio)
3.	Kecepatan	Tinggi antara stasiun	Sedang	Sangat tinggi antara bandar udara
4.	Akses langsung pada pengguna	Jelek	Sangat baik	Jelek
5.	Penggunaan lahan	Sempit	Lebih lebar	Sangat luas tapi hanya di bandar udara
6.	Suara	Keras tapi hanya yang di dekatnya	Sedang	Sangat keras di dekat bandar udara
7.	Polusi udara	Rendah	Sedang/tinggi	Tinggi
8.	Efisiensi energi	Tinggi	Tinggi untuk bus, rendah untuk mobil	Rendah

Sumber : Carpenter, 1996.

Bab II

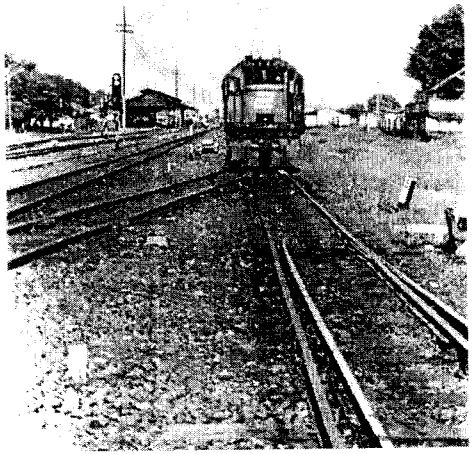
JALAN REL, PENGELOMPOKAN DAN DIMENSI RUANGNYA

2.1 PENGANTAR

Telah disinggung di depan (Pendahuluan) bahwa jalan rel telah berkembang sedemikan rupa sehingga saat ini terdapat tidak hanya jalan rel dengan dua rel sejajar, tetapi juga terdapat jalan *monorail*, bahkan jalan rel dengan teknologi levitasi magnetik. Bahasan jalan rel dalam buku ini akan berhubungan dengan uraian tentang jalan rel yang menggunakan teknologi konvensional yaitu *Teknologi Dua Rel Sejajar*, yang saat ini digunakan di Indonesia.

2.2 STRUKTUR JALAN REL

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya berjalan di atas jalan rel. Secara umum, pada teknologi konvensional berupa Teknologi Dua Rel Sejajar, jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja diletakkan di atas balok-balok melintang (lihat Gambar 2.1). Balok-balok melintang ini disebut bantalan. Untuk menjaga agar supaya rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan penambat rel. Dengan susunan dan tambatan yang demikian maka susunan dan struktur rel-bantalan-penambat rel menjadi suatu rangka yang kokoh. Rangka yang kokoh tersebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut dengan sepur (*track*). Sepur diletakkan di atas suatu alas yang disebut balas (*balast*), yang selanjutnya di bawah balas terdapat lapisan tanah dasar (*subgrade*), untuk jelasnya periksa Gambar 2.2.

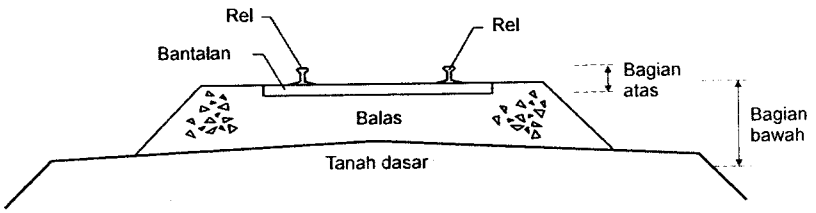


Gambar. 2.1 Kereta api berjalan di atas jalan rel dua rel sejajar

Selanjutnya komponen-komponen struktur jalan rel tersebut di atas dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu sebagai berikut:

a) struktur bagian atas, yaitu bagian lintasan, terdiri atas rel, bantalan dan penambat rel,

b) struktur bagian bawah, yaitu bagian fondasi, terdiri atas balas dan tanah dasar.



Gambar 2.2 Struktur jalan rel konvensional dua rel sejajar

Gaya yang ditimbulkan oleh kereta api yang melintas di atas jalan rel harus ditahan oleh struktur jalan rel. Gaya-gaya dimaksud ialah:

a) gaya vertikal,

b) gaya horisontal tegak lurus sumbu sepur, dan

c) gaya horisontal membujur searah sumbu sepur.

Gaya vertikal akan diterima oleh kedua rel, diteruskan kepada balas melalui perantaraan bantalan, oleh balas diteruskan kepada tanah dasar berdasarkan prinsip penyebaran beban. Selanjutnya beban yang diterima oleh tanah dasar ini akan diteruskan kepada badan jalan rel juga dengan prinsip penyebaran beban, dengan demikian maka tekanan spesifik pada badan jalan rel akan menjadi kecil, sehingga diharapkan tidak melebihi kuat dukung badan jalan relnya. Untuk itu maka ketebalan balas secara teknis harus mencukupi. Sedangkan gaya horisontal terutama akan ditahan oleh balas, karena itu maka peletakan bantalan pada balas harus sedemikian sehingga balas dapat menahan gaya horisontal yang harus ditahannya.

Gaya vertikal

Gaya vertikal berasal dari berat kereta api dan merupakan beban yang paling besar yang diterima oleh struktur jalan rel. Gaya vertikal ini dapat menyebabkan terjadinya defleksi vertikal. Besar dan asal beban vertikal diuraikan berikut ini.

a. Gaya lokomotif

Lokomotif yang sekarang digunakan PT. Kereta Api (persero) ialah lokomotif yang ditumpu oleh 2 *bogie*. Berdasarkan atas jumlah gandar (satu gandar terdiri atas 2 roda) pada masing-masing *bogie*, secara garis besar lokomotif yang digunakan dapat dikelompokkan atas 2 jenis, yaitu: Lokomotif BB yang masing-masing *bogie* terdiri atas 2 gandar, dan Lokomotif CC yang masing-masing *bogie* terdiri atas 3 gandar.

Perhitungan beban gandar (*axle load*) dan beban roda pada masing-masing jenis lokomotif dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Lokomotif BB. Jika beban lokomotif (Wlok) = 56 ton, maka:
   Gaya pada *bogie* (Pb) = Wlok/2 = 56/2 ton= 28 ton,
   Gaya gandar (Pg) = Pb/2 = 28/2 ton = 14 ton,
   Gaya roda statis (Ps) = Pg/2 = 14/2 ton = 7 ton.

2. Lokomotif CC. Jika beban lokomotif (Wlok) = 84 ton, maka:
   Gaya pada *bogie* (Pb) = Wlok/2 = 84/2 ton= 42 ton,
   Gaya gandar (Pg) = Pb/2 = 42/3 ton = 14 ton,
   Gaya roda statis (Ps) = Pg/2 = 14/2 ton = 7 ton.

Pada lokomotif CC terdapat 2 kelompok berat, yaitu: Lokomotif CC-201 dan CC-203, dengan berat 84 ton, sehingga beban gandarnya 14 ton, dan Lokomotif CC-202 dengan berat 108 ton atau beban gandar 18 ton.

b. Gaya Kereta (*Car, Coach*)

Kereta dipakai untuk angkutan penumpang. Kereta mempunyai karakteristik kenyamanan dan kecepatan yang tinggi. Berat kereta (berisi penumpang) ialah sekitar 40 ton. Kereta ditumpu oleh oleh 2 *bogie* (Pb=20 ton), masing-masing *bogie* terdiri atas 2 gandar, sehingga Pg = 10 ton, dan Ps = 5 ton.

c. Gaya Gerbong (*Wagon*)

Gerbong digunakan untuk angkutan barang. Prinsip beban ialah sama dengan lokomotif dan kereta. Satu gerbong dapat terdiri atas 2 gandar (tanpa *bogie*) atau 4 gandar (dengan *bogie*).

d. Faktor dinamis

Akibat dari beban dinamik kendaraan jalan rel, maka timbul faktor dinamik. Untuk mentransformasi gaya statis ke gaya dinamis digunakan faktor dinamis sebagai berikut:

$$Ip = 1 + 0{,}01\,(V/1{,}609 - 5) \qquad (2.1)$$

dengan:

Ip : faktor dinamis, dan

V : kecepatan kereta api (km/jam).

Selanjutnya gaya dinamis dapat dihitung sebagai berikut:

$$Pd = Ps \times Ip \qquad (2.2)$$

dengan:

Pd : gaya dinamis (ton),

Ps : gaya statis (ton), dan

Ip : faktor dinamis.

Gaya horisontal tegak lurus sumbu sepur

Gaya ini disebabkan oleh "*snake motion*" kereta api, gaya angin yang bekerja pada kereta api (sisi kanan/kiri) dan gaya sentrifugal sewaktu kereta api melintasi tikungan.

Gaya horisontal membujur searah sumbu sepur

Gaya ini disebabkan oleh gaya akibat pengereman, gesekan antara roda kereta api dengan kepala rel, gaya akibat kembang susut rel dan gaya berat jika jalan rel berupa tanjakan/penurunan.

2.3 PENGELOMPOKAN JALAN REL

Jalan rel dapat dikelompokkan menurut beberapa cara sesuai dengan kebutuhan dan sudut pandangnya, di antaranya ialah pengelompokan sebagai berikut:

a) menurut lebar sepur,
b) menurut kecepatan maksimum yang diijinkan,
c) menurut kelandaian,
d) menurut jumlah jalur, dan
e) menurut kelas jalan rel.

2.3.1 Pengelompokan Menurut Lebar Sepur

Sebelum menguraikan lebih jauh tentang pengelompokan jalan rel menurut lebar sepur perlu dijelaskan dahulu apa yang dimaksud dengan lebar sepur. Lebar sepur (*Rail Gauge*) ialah jarak terpendek antara kedua kepala rel, diukur dari sisi dalam kepala rel yang satu sampai sisi dalam kepala rel lainnya (lihat Gambar 2.3). Lebar sepur ini tetap (tidak berubah) meskipun dimensi rel yang digunakan berbeda. Berbagai negara menggunakan lebar sepur yang berbeda.

Terdapat tiga kelompok lebar sepur, yaitu:

a) sepur standar (*standard gauge*), lebar sepurnya ialah 1435 mm atau 4 feet 8,5 inch,
b) sepur lebar (*broad gauge*), lebar sepurnya lebih besar dari 1435 mm, dan
c) sepur sempit (*narrow gauge*), lebar sepurnya kurang dari 1435 mm.

Berikut diberikan contoh penggunaan berbagai lebar sepur di beberapa negara.

Tabel. 2.1 Ukuran lebar sepur yang digunakan di beberapa negara

Lebar Sepur (mm)	Digunakan di negara	Kelompok
1067	Indonesia, Jepang, Australia, Afrika Selatan	Sepur Sempit
1435	Amerika, Jepang, beberapa negara Eropa, Turki, Iran	Sepur Standar
1672	Spanyol, Portugal, Argentina	Sepur Lebar
1676	India	Sepur Lebar
1524	Rusia, Finlandia	Sepur Lebar
762	India	Sepur Sempit
1000	Myanmar, Thailand, Malaysia, India	Sepur Sempit

Catatan: 1. Lebar sepur 1000 mm disebut juga dengan *Metre Gauge*.
2. Lebar sepur 1067 mm dikenal juga dengan istilah *Cape Gauge*.

Beberapa hal yang berkaitan dengan *penggunaan sepur sempit* apabila dibandingkan dengan penggunaan sepur lebar ialah seperti berikut ini:

a) memungkinkan penggunaan jari-jari tikungan yang lebih kecil (lihat uraian pada Geometri Jalan Rel),
b) penggunaan lahan dan pekerjaan tanah lebih kecil (karena lebar sepur lebih sempit),
c) karena jarak antara dua rel sejajar lebih kecil maka bantalan yang digunakan lebih pendek,
d) lebih sensitif terhadap bahaya tergulingnya kereta api (karena jarak antara kedua roda kereta api lebih pendek),
e) kecepatan maksimum lebih rendah. Hal ini berkaitan dengan bahaya tergulingnya kereta api,
f) kapasitas angkut lebih kecil. Hal ini berkaitan dengan ukuran kereta api yang dapat digunakan.

Mengenai kapasitas angkut, kereta api pada sepur standar mempunyai kapasitas angkut kira-kira 1,3 kali lebih besar dibandingkan dengan kapasitas angkut kereta api pada sepur sempit.

2.3.2 Pengelompokan Menurut Kecepatan Maksimum

Sebelum menguraikan kecepatan maksimum, perlu dijelaskan bahwa dalam transportasi kereta api dikenal adanya empat kecepatan, seperti berikut:

a) kecepatan perancangan (*design speed*), yaitu kecepatan yang digunakan dalam perancangan struktur jalan rel, dan perancangan geometri jalan rel,
b) kecepatan maksimum (*maximum speed*), yaitu kecepatan tertinggi yang diijinkan dalam operasi suatu rangkaian kereta api pada suatu lintas. Kecepatan maksimum ini dapat digunakan untuk mengejar kelambatan-kelambatan yang terjadi karena gangguan-gangguan di perjalanan,
c) kecepatan operasi (*operational speed*), ialah kecepatan rerata kereta api pada petak jalan tertentu. Kecepatan Operasi ini tergantung pada kondisi jalan rel dan kereta/kendaraan rel yang beroperasi di atas jalan rel dimaksud,
d) kecepatan komersial (*commercial speed*), merupakan kecepatan yang dijual kepada konsumen. Kecepatan Komersial ini diperoleh dengan cara membagi jarak tempuh dengan waktu tempuh.

Kecepatan (V) maksimum kereta api yang diijinkan berkaitan dengan kelas jalan rel, ialah seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kecepatan maksimum yang diijinkan sesuai kelas jalan rel

Kelas Jalan Rel	Kecepatan Maksimum (km/ jam)
I	120
II	110
III	100
IV	90
V	80

Penentuan besarnya kecepatan perancangan (*design speed*) yang digunakan ialah sebagai berikut:

a) untuk perancangan struktur jalan rel

$$V_{perancangan} = 1{,}25 \times V_{maksimum}$$

b) untuk perencanaan jari-jari tikungan/lengkung, dan lengkung peralihan

V perancangan = V maksimum

2.3.3 Pengelompokan Menurut Kelandaian

Pengelompokan lintas jalan rel menurut kelandaian yang digunakan di Indonesia ialah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3, di bawah ini.

Tabel 2.3. Lintas jalan rel menurut kelandaian

Kelompok lintas jalan rel	Kelandaian (°/oo)
Lintas Datar	0 – 10
Lintas Pegunungan	10 – 40
Lintas Dengan Rel Gigi	40 – 80

Kelandaian jalan rel di emplasemen dibatasi 0 – 1,5°/oo. Kelandaian ini dibatasi agar supaya:

a) kereta api yang dalam keadaan berhenti di emplasemen tidak "berjalan sendiri" akibat dari beratnya, tiupan angin, dan atau dorongan-dorongan lainnya,

b) lokomotif yang pada saat mulai berjalan memerlukan tenaga besar untuk melawan tahanan yang besar, tidak terbebani lagi dengan tenaga yang diperlukan untuk mengatasi tanjakan.

2.3.4 Pengelompokan Menurut Jumlah Jalur

Jumlah jalur yang dimaksud di dalam pengelompokan ini ialah jumlah jalur pada lintas bebas. Sesuai dengan jumlah jalur yang dimaksudkan di atas, pengelompokannya ialah sebagai berikut:

a) jalur tunggal (*single track*): Jumlah jalur pada lintas bebas hanya satu dan digunakan untuk melayani arus kereta api dari dua arah,

b) jalur ganda (*double track*): Jumlah jalur pada lintas bebas dua buah; masing-masing jalur hanya digunakan untuk melayani arus kereta api dari satu arah saja.

Pada pengoperasian yang baik, kapasitas jalur ganda bahkan dapat mencapai lebih dari 2 kali kapasitas jalur tunggal, hal ini disebabkan karena dengan jalur ganda tidak terjadi persilangan kereta api yang berpapasan di lintas bebas.

2.3.5 Pengelompokan Menurut Kelas Jalan Rel

Perencanaan dan perancangan jalan rel di Indonesia sejak tahun 1986 (dengan Peraturan Dinas 10 PJKA) menggunakan satu macam beban gandar saja, yaitu 18 ton. Penggunaan satu macam beban gandar sebesar 18 ton tersebut mempunyai maksud sebagai berikut:

a) perpindahan kereta api, baik kereta api penumpang maupun barang dari satu sepur ke sepur lainnya yang kelasnya lebih rendah, dapat dilakukan tanpa harus mengurangi muatannya lebih dahulu,

b) setiap lokomotif dapat digunakan di semua sepur meskipun kelasnya berbeda.

Dengan satu macam beban gandar tersebut diharapkan akan diperoleh efisiensi operasi yang lebih baik karena tidak perlu ada waktu yang diperlukan untuk mengurangi muatan atau untuk pergantian lokomotif.

Oleh karena beban gandar ditetapkan sama untuk setiap kelas, maka klasifikasi jalan rel hanya didasarkan atas kapasitas angkut lintas dan atau kecepatan maksimum. Kapasitas Angkut Lintas yang dimaksud ialah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun, dengan satuan ton/tahun. Klasifikasi jalan rel di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi jalan rel di Indonesia

Kelas Jalan Rel	Kapasitas Angkut Lintas ($\times 10^6$ ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Beban gandar Maksimum (ton)
I	> 20	120	18
II	10 – 20	110	18
III	5 – 10	100	18
IV	2,5 – 5	90	18
V	< 2,5	80	18

Untuk menghitung besarnya kapasitas angkut lintas, PT.Kereta Api (persero) menggunakan cara penghitungan berdasarkan atas persamaan di bawah ini:

$$T = 360 \times S \times TE \quad (2.3)$$

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_1 \times T_1) \quad (2.4)$$

dengan:

T = kapasitas angkut lintas (ton/tahun),
TE= tonase ekivalen (ton/hari),
T_p = tonase penumpang dan kereta harian,
T_b = tonase barang dan gerbong harian,
T_1 = tonase lokomotif harian,
S = koefisien yang besarnya tergantung pada kualitas lintas, yaitu:
  S = 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam,
  S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang,
K_b = koefisien yang besarnya tergantung pada beban gandar, yaitu:
  Kb = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton,
  Kb = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton,
K_1 = koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4.

2.4 STANDAR JALAN REL DI INDONESIA

Untuk keperluan perencanaan dan perancangan struktur bagian atas jalan rel, Indonesia dalam hal ini PT. Kereta Api (persero)- menggunakan standar sebagai berikut (lihat Tabel 2.5).

Mengenai tipe rel, jenis bantalan, dan jenis penambat rel akan diuraikan kemudian.

Tabel 2.5 Standar jalan rel Indonesia

Kelas Jalan Rel	Kapasitas Angkut Lintas ($\times 10^6$ ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/ Jarak (mm)	Jenis Penambat Rel
I	> 20	120	R.60 / R.54	Beton/600	EG
II	10 – 20	110	R.54 / R.50	Beton/Kayu/ 600	EG
III	5 – 10	100	R. 54 / R.50 / R.42	Beton/Kayu/ Baja/600	EG
IV	2,5 – 5	90	R. 54 / R.50 / R.42	Beton/Kayu/ Baja/600	EG/ET
V	< 2,5	80	R.42	Kayu/Baja/600	ET

Keterangan : EG : Elastis Ganda; ET : Elastis Tunggal

2.5 RUANG BEBAS DAN RUANG BANGUN

Jalan rel harus senantiasa bebas dari rintangan dan setiap saat dapat dilewati oleh kereta api dengan aman. Untuk memenuhi tuntutan tersebut maka diperlukan adanya ruang di atas sepur yang senantiasa bebas dari segala benda yang dapat tersentuh oleh kereta api. Sebaliknya, tidak boleh ada bagian dari kendaraan jalan rel (lokomotif, kereta, gerbong) yang ke luar dari ruang dimaksud. Selanjutnya, dalam hal ruang di atas sepur yang harus selalu bebas ini dikenal adanya Ruang Bebas dan Ruang Bangun.

2.5.1 Ruang Bebas

Ruang Bebas ialah ruang di atas sepur yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang; ruang ini disediakan bagi lalu lintas kereta api. Ukuran Ruang Bebas untuk jalur tunggal dan jalur ganda, untuk bagian lintas yang lurus maupun tikungan, lintas dengan elektrifikasi maupun non-elektrifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, Gambar 2.6, dan Gambar 2.7. Ukuran-ukuran Ruang Bebas tersebut sudah memperhitungkan hal-hal berikut:

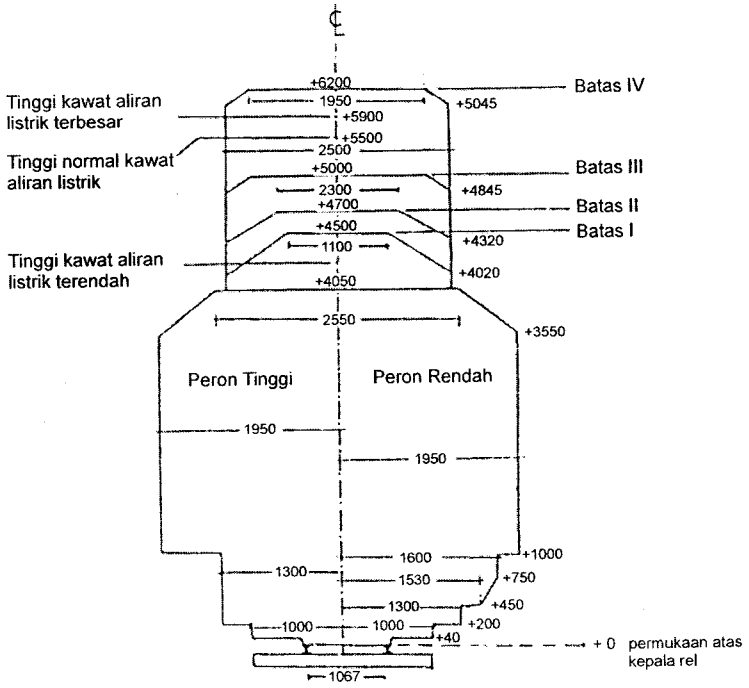
a) bergeraknya kendaraan jalan rel (lokomotif, kereta, gerbong) ke kanan dan ke kiri dalam perjalanan (akibat adanya kelonggaran antara flens roda dan kepala rel, maupun cacat-cacat sepur atau *track irregularities*),

b) pelebaran ruang yang diperlukan sewaktu kereta api melewati tikungan/lengkung,

c) ukuran gerbong peti kemas standar ISO (*ISO container size*) tipe *standard height*,

d) penyediaan ruang bebas untuk memasang saluran-saluran kawat listrik beserta tiang-tiang pendukungnya, dan pantograf listrik pada kereta elektrifikasi, dan

e) tinggi peron, baik untuk barang maupun untuk penumpang (peron tinggi dan peron rendah).



Keterangan:

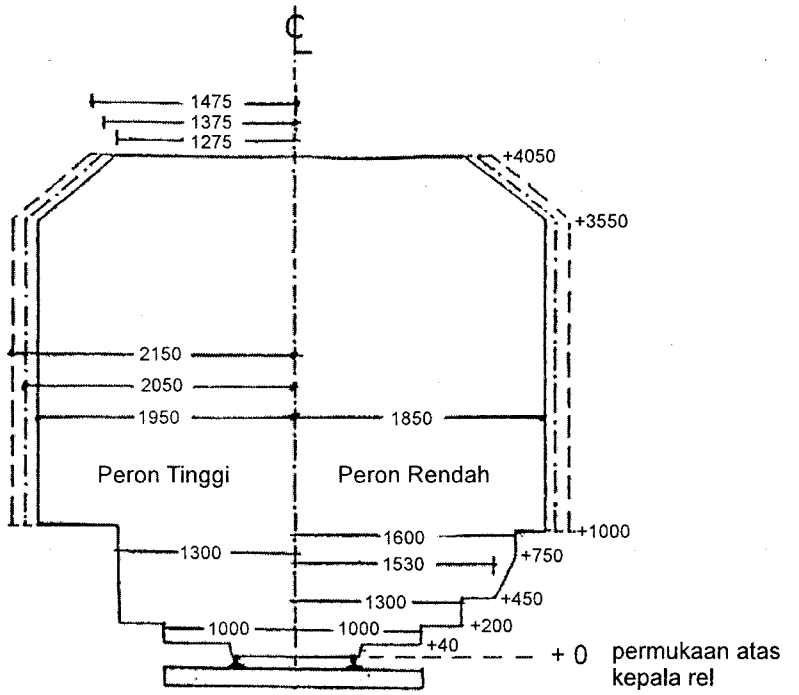
Batas I untuk jembatan dengan kecepatan hingga 60 km/jam,

Batas II untuk *viaduct* dan terowongan dengan kecepatan hingga 60 km/jam, dan untuk jembatan tanpa pembatasan kecepatan,

Batas III untuk *viaduct* baru dan bangunan lama kecuali terowongan dan jembatan,

Batas IV untuk lintas kereta listrik.

Gambar 2.4 Ruang Bebas pada bagian lurus



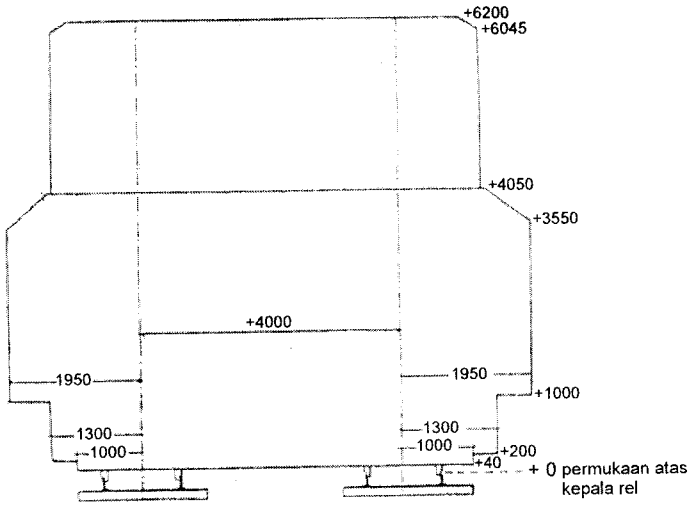
Keterangan :

_____ : Batas Ruang Bebas pada lintas lurus dan pada lengkung/ tikungan dengan jari-jari > 3000 meter,

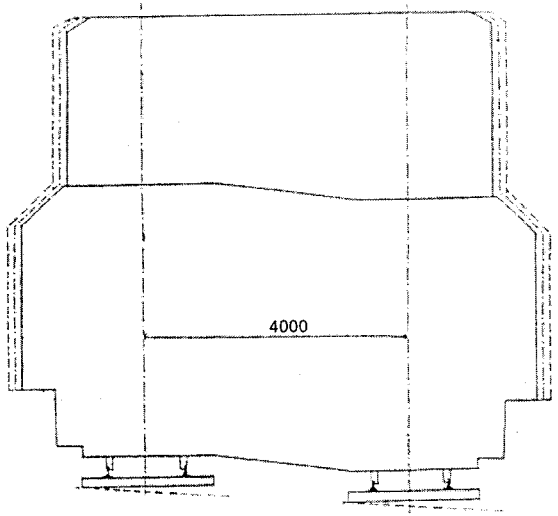
— · — · — : Batas Ruang Bebas pada lengkung/tikungan dengan jari-jari 300 sampai dengan 3000 meter,

— — — : Batas Ruang Bebas pada lengkung/tikungan dengan jari-jari < 300 meter.

Gambar 2.5 Ruang Bebas pada daerah lengkung/tikungan



Gambar 2.6 Ruang Bebas pada jalur lurus untuk jalur ganda



Keterangan :

_____ : Batas Ruang Bebas pada lintas lurus dan pada lengkung/ tikungan dengan jari-jari > 3000 meter,

— · — · : Batas Ruang Bebas pada lengkung/tikungan dengan jari-jari 300 sampai dengan 3000 meter,

— — —: Batas Ruang Bebas pada lengkung/tikungan dengan jari-jari < 300 meter.

Gambar 2.7 Ruang Bebas pada bagian lengkung/tikungan untuk jalur ganda

2.5.2 Ruang Bangun

Ruang Bangun ialah ruang di sisi sepur yang senantiasa harus bebas dari segala bangunan tetap, seperti tiang listrik, pagar, tiang semboyan/rambu, tiang sinyal elektris dan sebagainya. Ruang Bangun diukur dari sumbu sepur pada tinggi 1 meter sampai 3,55 meter. Jarak horisontal Ruang Bangun ditetapkan sebagai berikut:

a) pada lintas bebas ialah 2,35 m sampai 2,53 m di kiri dan kanan sumbu sepur,

b) pada emplasemen ialah 1,95 m sampai 2,35 m di kiri dan kanan sumbu sepur, dan

c) pada jembatan ialah 2,15 m di kiri dan kanan sumbu sepur.

2.6 RUMPUN KERETA API

Meskipun tidak berkaitan langsung hanya dengan jalan relnya, kiranya perlu disampaikan di sini tentang pengelompokan kereta api berdasarkan atas rumpunnya. Untuk memenuhi kebutuhan transportasi kereta api yang semakin berkembang, baik untuk angkutan barang maupun manusia, transportasi kereta api telah berkembang dengan signifikan. Perkembangan dimaksud meliputi berbagai hal, termasuk dalam kecepatan, kapasitas angkut, kenyamanan, keselamatan, daya guna, dan hasil guna. Dari perkembangan yang sedemikian, saat ini transportasi kereta api dapat dikelompokkan atas empat rumpun, yaitu sebagai berikut:

a) kereta api konvensional,

b) kereta api urban (*urban railway*),

c) kereta api kecepatan tinggi (*high-speed train*), dan

d) kereta api rangkaian panjang angkutan berat (*heavy haul long train*).

Kereta api konvensional biasanya menggunakan sepur sempit (*narrow gauge*), peron rendah dan kecepatan kereta api tidak tinggi. Untuk membuka daerah baru, di Jepang sering diawali dengan pembangunan jalur kereta api konvensional. Indonesia saat ini untuk transportasi kereta api antar kota masih menggunakan kereta api rumpun ini.

Kereta api urban ditandai dengan peron tinggi, jarak stasiun/pemberhentian dekat dan waktu berhenti kereta api di stasiun/pemberhentian untuk menurunkan/menaikkan penumpang singkat. Contoh rumpun kereta api urban ini ialah kereta api bawah tanah (*underground*) di London, Kereta Api Metro di Tyne and Wear Inggris, BTS Skytrain di Bangkok, Kereta Api Jabotabek (Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi).

Kereta api kecepatan tinggi mempunyai kecepatan yang sangat tinggi, lebih besar dari 120 km/jam. Kereta api pada rumpun ini berjalan di atas jalan rel dengan sepur standar atau sepur lebar dan lintasannya terkontrol dengan sangat ketat. Contoh kereta api rumpun ini ialah Shinkansen di Jepang (210 km/jam), TGV di Perancis (270 – 300 km/jam), InterCity 125 (200 km/jam) di Inggris, ER200 (200 km/jam) di Rusia, dan ETR450 (250 km/jam) di Italia.

Kereta api panjang angkutan berat ini digunakan untuk mengangkut barang (biasanya berupa hasil tambang). Rangkaian pada kereta api ini sangat panjang dan mempunyai kapasitas angkut yang sangat besar, Satu rangkaian kereta api pada rumpun ini dapat terdiri atas beberapa puluh gerbong, bahkan di atas 100 gerbong. Rumpun kereta api ini dapat dilihat di Australia dan Amerika. Kereta api pengangkut batubara di Sumatera meskipun jumlah gerbong dalam satu rangkaiannya tidak lebih dari 100 gerbong, kiranya dapat pula dipandang sebagai rumpun kereta api ini.

Bab III

REL DAN BANTALAN

3.1 PENGANTAR

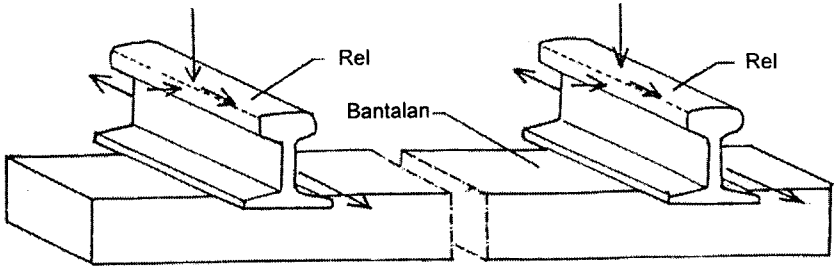
Pada Bab II telah diuraikan bahwa struktur jalan rel terdiri atas rel, bantalan, penambat rel, balas, dan tanah dasar. Komponen struktur jalan rel yang berupa rel dan bantalan akan diuraikan lebih rinci pada Bab III ini. Komponen jalan rel yang berupa penambat rel dan balas akan dibahas pada Bab IV, sedangkan uraian mengenai tanah dasar akan disampaikan pada bab yang membahas tentang badan jalan rel.

3.2 REL

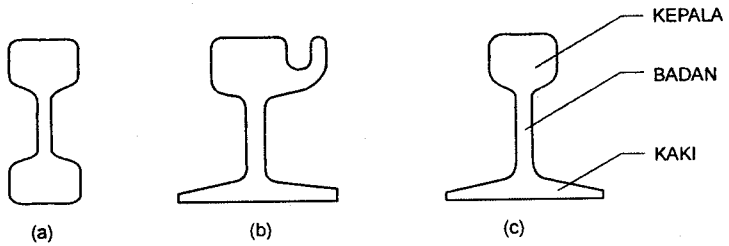
Rel pada jalan rel mempunyai fungsi sebagai pijakan menggelindingnya roda kereta api dan untuk meneruskan beban dari roda kereta api kepada bantalan. Rel ditumpu oleh bantalan-bantalan, sehingga rel merupakan batang yang ditumpu oleh penumpu-penumpu. Pada sistem tumpuan yang sedemikian, tekanan tegak lurus dari roda menyebabkan momen lentur pada rel di antara bantalan-bantalan. Selain itu, gaya arah horisontal yang disebabkan oleh gaya angin, goyangan kereta api, dan gaya sentrifugal (pada rel sebelah luar) menyebabkan terjadinya momen lentur arah horisontal. Untuk lebih jelasnya periksa Gambar 3.1.

Agar supaya rel dapat menahan momen-momen tersebut, maka rel dibuat sebagai batang dengan bentuk dasar profil I. Pengembangan dari bentuk dasar profil I tersebut terdapat tiga macam bentuk rel, yaitu (lihat Gambar 3.2) :

a) rel berkepala dua,
b) rel alur (*Grooved Rail*), dan
c) rel Vignola.



Gambar 3.1 Gaya-gaya yang bekerja pada rel



(a) Rel berkepala dua (b) Rel alur (c) Rel Vignola

Gambar 3.2 Macam-macam bentuk rel

Rel Vignola (ditemukan pertama kali oleh Charles Vignoles tahun 1836) merupakan bentuk rel yang umum digunakan pada jalan rel, termasuk di Indonesia. Pada uraian selanjutnya yang akan dibahas adalah rel bentuk Vignola.

Rel bentuk Vignola terdiri atas tiga bagian rel, yaitu: kepala, badan, dan kaki. Dengan bentuk yang seperti itu, rel bentuk Vignola mempunyai keunggulan-keunggulan sebagai berikut:

a) momen perlawanan cukup besar (bentuk seperti profil I), tetapi relatif mudah untuk dibentuk lengkung horisontal,
b) kaki yang lebar dengan sisi bawah datar, menjadikan rel mudah diletakkan dan ditambatkan pada bantalan, serta lebih stabil kedudukannya,
c) kepala rel sesuai dengan bentuk kasut roda.

Keausan rel terutama terjadi pada bagian kepala, oleh karenanya untuk mendapatkan umur rel yang lebih panjang, bagian kepala diperbesar. Selain hal tersebut (untuk ketahanan terhadap aus), diperbe-

sarnya kepala rel adalah karena kepala rel merupakan tempat tumpuan roda kereta (lihat 3.2.3. kedudukan roda pada rel).

3.2.1 Potongan Melintang Rel

Untuk memenuhi kebutuhan teknik dan memenuhi pertimbangan ekonomi maka prinsip dasar perancangan potongan melintang rel ialah mempunyai berat baja optimum, memenuhi kekakuan, kekuatan dan durabilitas yang diperlukan agar supaya dapat memberikan kedudukan permukaan yang rata dan menerus, dan memberikan "bimbingan" yang mencukupi bagi roda kereta api untuk menggelinding di atasnya.

Kepala Rel

Bentuk permukaan kepala rel dirancang sedemikian sehingga cocok dengan bentuk permukaan kasut roda kereta api, yang dengan demikian dapat diperoleh kombinasi antara kualitas perjalanan yang baik dan tegangan kontak yang minimum.

Badan Rel

Ketebalan dan kekuatan badan rel dirancang untuk dapat menghasilkan kuat geser yang cukup untuk melindungi terhadap kerusakan, terutama di sekitar lubang sambungan rel. Pertemuan antara permukaan badan rel dengan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel perlu dibuat lengkung transisi. Lengkung transisi tersebut diperlukan untuk mengatasi besarnya tegangan yang timbul pada pertemuan antara permukaan-permukaan tersebut akibat dari kedudukan roda dan rel yang miring (lihat kedudukan roda pada rel, pada Gambar 3.6). Mundrey (2000), menyebutkan bahwa gaya yang terjadi pada pertemuan permukaan-permukaan tersebut di atas (disebut sebagai *curving forces*), dapat mencapai sebesar 35% dari beban gandar.

Kaki Rel

Lebar kaki rel harus mencukupi untuk memberikan kestabilan terhadap guling (*overturning*) dan bidang yang cukup luas bagi penambat rel untuk menjepitnya secara efektif. Permukaan bawah kaki rel dibuat rata agar dapat mendistribusikan beban dari roda kepada

bantalan secara merata. Sedangkan permukaan atas kaki rel dibuat rata (tidak melengkung) agar supaya tegangan kontak antara penambat rel dan rel dapat minimal.

3.2.2 Tipe dan Karakteristik Rel

Tipe rel yang digunakan untuk jalan rel pada dasarnya adalah sesuai dengan kelas jalan relnya (lihat Bab II Standar Jalan Rel Indonesia), yaitu sebagai berikut (Lihat tabel 3.1).

Karakteristik rel sesuai tipenya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

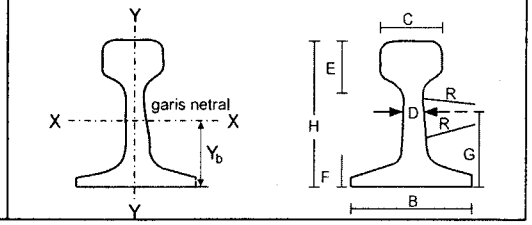
3.2.3 Bahan dan Kekuatan Rel

Agar supaya rel dapat mempunyai umur manfaat yang lebih panjang, maka yang digunakan adalah rel tahan aus dan tidak mudah retak. Dengan umur manfaat yang lebih panjang, maka siklus pergantian rel akan menjadi lebih panjang. Untuk mendapatkan rel yang tahan aus dan tidak mudah retak bahan dasar rel selain Fe sebagai bahan utama, juga mengandung C, dan Mn. Kandungan C diperlukan untuk mendapatkan sifat kuat dan keras, Mn diperlukan sebagai bahan deoxidasi dan sebagai bahan campuran. Mn akan mengikat O dan S menjadi MnO dan MnS yang tidak merugikan. Jika tidak terdapat Mn maka akan terbentuk FeO dan FeS yang menjadikan rel getas dan mudah patah. Dengan pertimbangan perlunya rel yang kuat, keras, tahan terhadap aus, tidak getas, dan tidak mudah patah maka rel yang digunakan di Indonesia ialah jenis rel tahan aus yang sejenis dengan rel WR-A pada klasifikasi UIC.

Tabel 3.1. Tipe rel yang digunakan pada jalan rel

Kelas Jalan Rel	Tipe Rel
I	**R.60 / R.54**
II	R.54 / R.50
III	R.54 / R.50 / R.42
IV	R.54 / R.50 / R.42
V	R.42

Tabel 3.2. Karakteristik Rel

Karakteristik Rel		Tipe Rel			
Karakteristik	Notasi dan satuan	R.42	R.50	R.54	R.60
Tinggi rel	H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
Lebar kaki	B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
Lebar kepala	C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
Tebal badan	D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
Tinggi kepala	E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
Tinggi kaki	F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis horisontal dari pusat kelengkungan badan rel	G (mm)	72,00	76,00	74,97	80,95
Jari-jari kelengkungan badan rel	R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
Luas penampang	A (cm^2)	54,26	64,20	69,34	76,86
Berat rel	W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
Momen inersia terhadap sumbu X	I_x (cm^4)	1.369	1.960	2.346	3.055
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis netral	Y_b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
Penampang melintang					

Kekuatan rel diukur dengan kuat tarik. Rel yang digunakan harus mempunyai kuat tarik minimum sebesar 90 kg/mm^2, dengan perpanjangan minimum 10 %. Kekerasan kepala rel biasa, tidak boleh kurang dari 240 Brinell. Kekerasan kepala rel dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas (*heat treatment*), yang dengan perlakuan ini dapat mencapai kekerasan sebesar 320 – 388 Brinell. Dengan perlakuan panas umur rel dapat menjadi 2 hingga 3 kali lebih panjang dibandingkan dengan umur rel biasa. Mengingat keausan rel luar pada lengkung/tikungan lebih cepat terjadi dibandingkan dengan yang terjadi pada sepur lurus maka rel yang mendapat perlakuan panas (*heat treated rails*) cocok digunakan untuk rel luar dimaksud.

3.2.4 Macam Rel

Terdapat tiga macam rel tahan aus (*wear resistant* – WR) menurut klasifikasi UIC (*Union Internationale des Chemins de Fer*), yaitu WR-A, WR-B, WR-C. Tabel 3.3. menunjukkan kadar C dan Mn yang ada pada rel klasifikasi UIC dan rel yang digunakan di Indonesia oleh PT.Kereta Api (persero).

Tabel 3.3 Kadar C dan Mn dalam rel

Macam Rel	Kadar C (%)	Kadar Mn (%)
WR-A	0,60 – 0,75	0,80 – 1,30
WR-B	0,50 – 0,65	1,30 – 1,70
WR-C	0,45 – 0,60	1,70 – 2,10
Digunakan oleh PT. Kereta Api (persero)	0,60 – 0,80	0,90 – 1,10

Pada Tabel 3.3 tersebut di atas dapat dilihat bahwa rel yang digunakan di Indonesia oleh PT. Kereta Api (persero) masuk dalam WR-A. Dilihat pada besarnya kadar C pada rel WR-A dan rel yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero), yaitu antara 0,60% – 0,80 %, maka rel tersebut masuk dalam kategori rel dengan kandungan karbon tinggi (*high carbon rail*).

3.2.5 Jenis Rel

Jenis rel yang dimaksud di sini ialah jenis rel menurut panjangnya. Terdapat tiga jenis rel menurut panjangnya, yaitu:

a) rel standar,
b) rel pendek, dan
c) rel panjang.

Rel Standar

Rel standar mempunyai panjang 25 meter. Pada waktu yang lalu, panjang rel standar ialah 17 meter, tetapi sekarang PT Kereta Api (persero) menggunakan panjang 25 meter untuk rel standar. Penggunaan panjang 25 meter sebagai pengganti panjang rel standar 17 meter mempunyai keuntungan sebagai berikut:

a) jumlah sambungan rel dapat dikurangi, dari 59 sambungan setiap km menjadi 40 sambungan tiap km. Dengan pengurangan jumlah sambungan ini terdapat penghematan sambungan rel sebesar 32%,
b) berkurangnya jumlah sambungan rel akan meningkatkan kenyamanan perjalanan, karena getaran kereta akan meningkat pada saat roda melewati sambungan rel.

Rel Pendek

Rel pendek dibuat dari beberapa rel standar yang disambung dengan las dan dikerjakan di tempat pengerjaan (balai yasa/depot dan sejenisnya). Pekerjaan pengelasan dilakukan dengan proses *flash welding*, sehingga di beberapa negara dikenal sebagai *welded rail*. Rel pendek ini panjang maksimumnya 100 meter. Batasan panjang rel pendek yang disambung dengan cara pengelasan di tempat pengerjaan tersebut di atas adalah berdasarkan pada kemudahan pengangkutan ke lapangan dan pengangkatannya di lapangan.

Rel Panjang

Rel panjang dibuat dari beberapa rel pendek yang disambung dengan las *di lapangan*, dikenal pula sebagai *Continuous Welded Rail* (CWR). Panjang minimum rel panjang tergantung pada jenis bantalan yang digunakan dan tipe rel, seperti yang tercantum pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Panjang minimum rel panjang

Jenis Bantalan	Tipe Rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
Bantalan kayu	325 m	375 m	400 m	450 m
Bantalan beton	200 m	225 m	250 m	275 m

Penentuan panjang minimum rel panjang ialah berdasarkan pada pemuaian rel, gaya normal pada rel, dan gaya lawan bantalan seperti uraian berikut ini.

Dilatasi pemuaian rel ialah:

$$\Delta L = L. \times \lambda \times \Delta T \qquad (3.1)$$

dengan :

ΔL : pertambahan panjang (m),
L : panjang rel (m),
λ : koefisien muai panjang, dan
ΔT : pertambahan temperatur (^oC)

Menurut hukum Hooke, gaya yang terjadi pada batang rel ialah:

$$F = \frac{\Delta L \times E \times A}{L} \qquad (3.2)$$

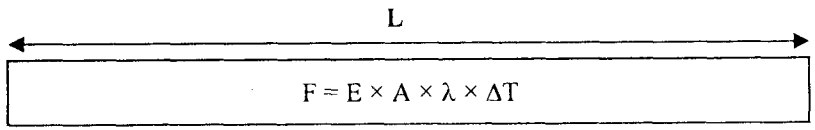
dengan :

F : gaya yang terjadi pada batang rel,
E : modulus elastisitas rel, dan
A : luas penampang.

Dengan mensubstitusi (3.1) ke (3.2) maka didapat:

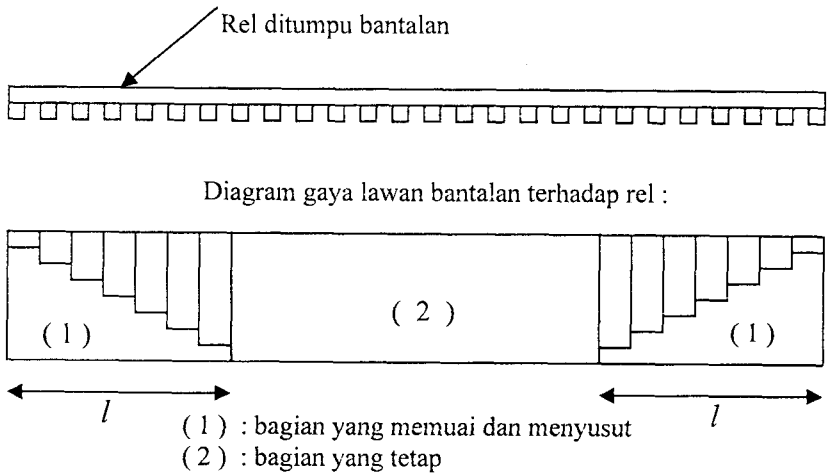
$$F = E \times A \times \lambda \times \Delta T \qquad (3.3)$$

dengan diagram gaya normal pada rel seperti di bawah ini:



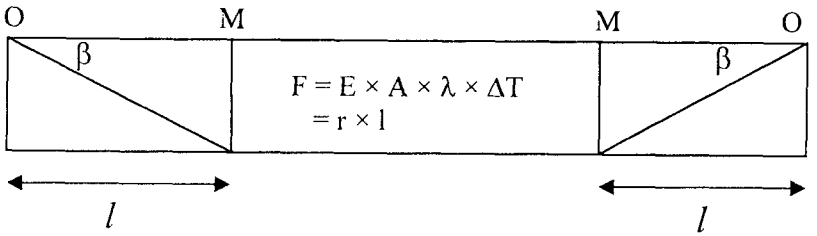
Gambar 3.3 Diagram gaya normal pada rel

Rel diletakkan di atas bantalan (lihat uraian mengenai bantalan di Bab IV), maka diagram gaya lawan oleh bantalan ialah seperti di bawah ini:



Gambar 3.4 Diagram gaya lawan terhadap rel

Yang dapat digambarkan dengan penyederhanaan sebagai berikut:



Gambar 3.5 Penyederhanaan gaya lawan bantalan pada rel

Panjang l dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$l = OM = \frac{E \times A \times \lambda \times \Delta T}{r} \qquad (3.4)$$

dengan $r = tg\ \beta$ = gaya lawan bantalan tiap satuan panjang

Untuk mendapatkan panjang minimum rel panjang digunakan batasan sebagai berikut:

$$L > 2\,l$$

Besarnya l dapat dihitung dengan persamaan 3.4.

Nilai r bergantung pada jenis bantalannya, untuk bantalan kayu nilai r = 270 kg/m, untuk bantalan beton nilai r = 450 kg/m.

Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh pada penggunaan rel panjang dibandingkan dengan penggunaan jenis rel yang lain ialah:

a) kerusakan sepur (*track*) terjadi lebih lambat,
b) keausan dan kerusakan rel maupun komponen yang lainnya berkurang,
c) kereta api berjalan lebih tenang, goncangan yang terjadi relatif lebih kecil,
d) kebisingan dan getaran yang terjadi berkurang, dan
e) pemeliharaan dengan peralatan tidak mengalami hambatan.

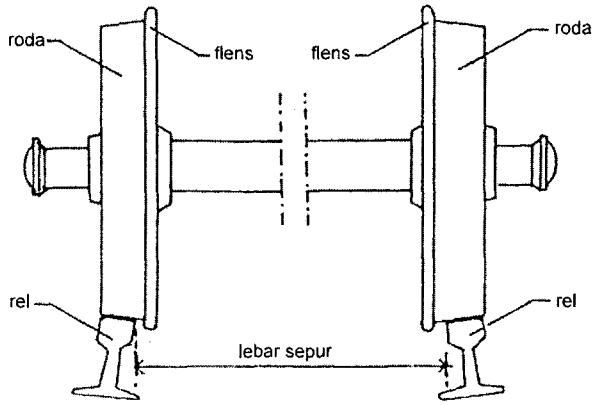
Terdapat beberapa hal yang harus mendapatkan perhatian pada penggunaan rel panjang, yaitu:

a) Kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada rel panjang,
b) kemungkinan terjadinya rel patah, dan
c) pemuaian dan penyusutan yang kemungkinan terjadi pada ujung-ujung rel perlu mendapatkan perhatian.

Untuk mengatasi hal-hal tersebut di atas, berbagai peningkatan teknologi telah dan terus dilakukan, baik pada pengelasan, sambungan rel, maupun penambat relnya.

3.2.6 Kedudukan Roda pada Rel

Kedudukan roda kereta api pada rel ialah seperti yang digambarkan pada Gambar 3.6. Apabila jarak antara tepi dalam flens dibuat sama dengan lebar sepur, maka flens akan menggesek tepi kepala rel. Untuk menghindari terjadinya gesekan tersebut maka jarak antara tepi-dalam flens kedua roda dibuat lebih kecil dibandingkan dengan lebar sepurnya. Bagian kasut roda dibuat konus dengan kemiringan tertentu (*coning of wheel*). Hal ini dengan pertimbangan sebagai berikut.

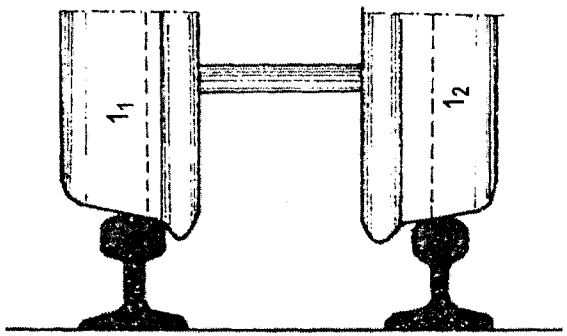


Gambar 3.6 Kedudukan roda pada rel

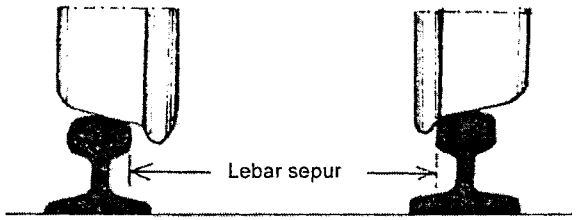
Apabila kasut roda dibuat datar akan terjadi gerakan kereta api arah lateral ke kanan dan ke kiri. Pada saat kereta api berjalan di jalur lurus, dapat terjadi salah satu flens roda merapat pada rel. Oleh karena kedua roda dihubungkan dengan dan oleh poros, yang karenanya kedua roda dan poros menjadi satu kesatuan, maka saat satu flens roda merapat pada rel, flens roda pasangannya akan menjauh dari rel (lihat Gambar 3.7). Akibat yang lain dari menyatunya kedua roda dan poros adalah kedua roda akan berputar dengan kecepatan yang sama, dan karena jalannya lurus maka lingkaran roda yang menapak pada kepala rel (disebut sebagai lingkaran jalan) juga akan sama besarnya. Karena bentuk kasut roda yang konus, untuk dapat memperoleh lingkaran jalan yang sama besarnya (lihat l_1 dan l_2 pada Gambar 3.7), pasangan roda (yang menyatu dengan porosnya) yang merapat pada salah satu rel akan kembali ke tengah-tengah sepur. Dengan demikian maka bergeraknya pasangan roda yang kadang-kadang merapat pada rel kiri kemudian ke kanan secara berganti-ganti dapat dikurangi dan kereta api dapat berjalan dengan lebih tenang.

Kasut roda yang berbentuk konus juga sangat besar manfaatnya pada saat kereta api melewati lengkung/tikungan. Pada saat melewati tikungan, flens roda akan merapat pada rel luar. Panjang rel luar lebih besar dibandingkan dengan panjang rel dalam, dengan demikian maka roda yang menapak pada rel luar (disebut roda luar) menjalani lengkung yang lebih panjang dibandingkan dengan roda yang menapak pada rel dalam (disebut roda dalam). Perbedaan panjang lengkung

yang dijalani oleh roda ini akan mengakibatkan bergesernya salah satu roda di atas rel (*slipping of wheel*) yang dapat meyebabkan keausan, baik pada rel maupun pada kasut roda. Akan tetapi dengan kasut roda yang berbentuk konus ini lingkaran jalan roda luar yang merapat pada rel lebih besar bila dibandingkan dengan lingkaran jalan roda dalam (periksa Gambar 3.8), maka bergesernya salah satu roda menjadi berkurang.

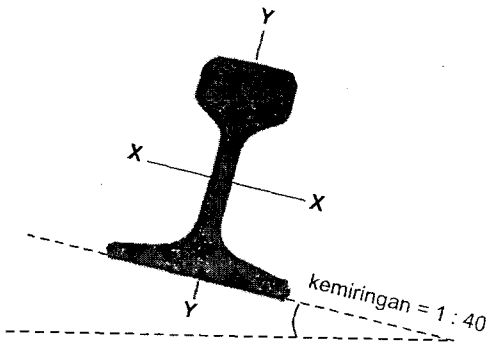


Gambar 3.7 Kedudukan roda pada saat salah satu flens merapat pada rel



Gambar 3.8 Kedudukan roda pada saat melewati lengkung/tikungan

Dari beberapa percobaan dapat diperoleh hasil bahwa kemiringan konus optimal yang dapat menghasilkan perjalanan kereta api yang tenang ialah 1:40. Agar dapat dicapai bidang kontak yang baik antara kepala rel dan kasut roda maka kedudukan rel disesuaikan dengan kemiringan kasut roda kereta, sehingga kedudukan rel dibuat miring ke arah dalam dengan kemiringan 1:40 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.9.

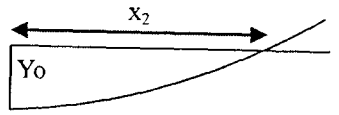


Gambar 3.9 Rel dipasang miring ke arah dalam

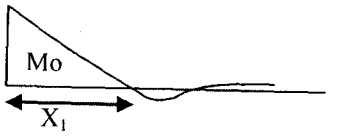
3.2.7 Dasar Perhitungan Tipe Rel yang Digunakan

Untuk penentuan tipe rel yang mendasarkan pada perhitungan dimensi rel digunakan anggapan bahwa rel merupakan suatu balok tidak berhingga panjangnya. Dengan pembebanan terpusat dan ditumpu oleh struktur yang mempunyai modulus elastisitas, yang dalam hal ini ialah modulus elastisitas jalan rel.

Persamaan dasarnya ialah :



$$Y = \frac{P_d}{2k} e^{-\eta x} (\sin \eta x + \cos \eta x) \quad (3.5)$$



$$M = \frac{P_d}{4\eta} e^{-\eta x} (\cos \eta x - \sin \eta x) \quad (3.6)$$

Gambar 3.10 Defleksi dan momen yang terjadi pada rel akibat beban roda

k : modulus elastisitas jalan rel = 180 kg/cm^2,

η : *dumping factor* $= = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$ (3.7)

I_x : momen inersia rel pada sumbu x – x,
E : modulus elastisitas rel = 2,1 × 10^6 kg/cm^2,
P_d : gaya dinamis roda.

M = 0 apabila cos ηx – sin ηx = 0 atau cos ηx = sin ηx dan x = π/4, karena itu maka:

$$X_1 = \frac{\pi}{4\eta} = \frac{\pi}{4}\sqrt[4]{\frac{4EI}{k}} \quad (3.8)$$

M maksimum apabila (cos ηx_1 – sin ηx_1) = 1, maka:

$$Mo = \frac{P_d}{4\eta} \quad (3.9)$$

Untuk transformasi gaya statis roda menjadi gaya dinamis roda digunakan persamaan Talbot sebagai berikut:

$$Pd = Ps + 0{,}01\ Ps\ (V - 5) \quad (3.10)$$

dengan:
Pd : gaya dinamis roda (ton),
Ps : gaya statis roda (ton), dan
V : kecepatan kereta api dalam mil/jam,

atau menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2), pada Bab.II, apabila kecepatan kereta api menggunakan satuan km/jam.

Tegangan yang terjadi pada rel dapat dihitung dengan:

$$\sigma = \frac{M1\ y}{I_x} \quad (3.11)$$

dengan:
σ : tegangan yang terjadi pada rel,
M1 : 0,85 Mo (akibat super posisi beberapa gandar),
y : jarak tepi bawah rel ke garis netral, dan

I_x : momen inersia terhadap sumbu x – x.

Sesuai dengan standar jalan rel Indonesia, termasuk beban gandar maksimum untuk semua kelas jalan rel sebesar 18 ton, maka dapat dihitung besarnya tegangan yang terjadi sesuai dengan kelas dan tipe rel yang digunakan seperti Tabel 3.5. berikut ini.

Tabel 3.5 Tegangan yang terjadi pada rel berdasarkan atas standar jalan rel Indonesia

Kelas jalan rel	Tipe rel	Tegangan (kg/cm^2)
I	R.60	1042
	R.54	1195
II	R.54	1146
	R.50	1236
III	R.54	1097
	R.50	1183
	R.42	1474
IV	R.54	1048
	R.50	1130
	R.42	1409
V	R.42	1343

3.2.8 Sambungan Rel

Sambungan rel ialah suatu konstruksi yang mengikat dua ujung rel, sedemikian sehingga kereta api dapat berjalan di atasnya dengan aman dan nyaman. Sambungan rel merupakan titik yang tidak menguntungkan. Dari segi beban yang harus diterimanya, sambungan rel harus kuat menahan momen yang timbul, gaya yang bekerja, maupun sentuhan yang ditimbulkan oleh roda kereta api. Di samping itu, konstruksi sambungan rel harus mampu mengakomodasi pemuaian rel. Memenuhi kedua tuntutan tersebut tidaklah mudah, karena satu tuntutan dan tuntutan lainnya berseberangan. Hal inilah yang

menjadikan sambungan rel merupakan titik yang tidak menguntungkan dan merupakan tempat yang lemah.

Agar supaya kereta api dapat berjalan dengan aman dan nyaman, di tempat sambungan rel berada, sisi atas kepala rel kedua rel yang disambung harus terletak pada satu bidang, sehingga tidak timbul benturan yang besar antara roda dan ujung rel. Bahan sambungan rel harus cukup kuat menahan beban, sehingga pelenturan yang terjadi tidak besar, yang dengan demikian dapat mengurangi benturan roda pada ujung rel. Selanjutnya yang akan diuraikan dalam bahasan mengenai sambungan rel di sini ialah sambungan rel yang menggunakan pelat penyambung dan mur-baut.

A. Persyaratan Sambungan Rel

Fungsi dan persyaratan umum sambungan rel telah diuraikan di atas. Persyaratan sambungan rel secara lebih rinci dapat disampaikan seperti di bawah ini:

a) harus mempunyai kuat tarik yang mencukupi,
b) harus mampu mempertahankan dua ujung rel yang disambung pada *level*/bidang yang sama, baik horisontal maupun vertikal,
c) harus mampu menahan gaya lateral yang terjadi sehingga lebar sepur dapat dipertahankan,
d) harus memberikan elastisitas yang cukup sehingga getaran dan goncangan akibat beban yang bergerak pada rel dapat diserap,
e) harus mempunyai ketahanan terhadap gaya longitudinal yang timbul akibat percepatan/perlambatan beban yang bergerak di atas rel,
f) terdiri atas komponen-komponen yang tidak banyak jumlahnya, mudah dipasang dan mudah pula perawatannya, tetapi tidak mudah dilepas oleh sembarang orang (untuk mencegah sabotase dan vandalisme), dan
g) ekonomis dan tahan lama.

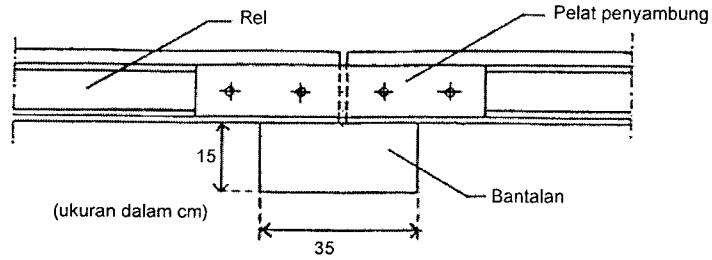
B. Macam Sambungan

Berdasarkan atas kedudukan sambungan rel terhadap bantalan terdapat dua macam sambungan rel, yaitu:

a) sambungan menumpu (*supported joint*),
b) sambungan menggantung (*suspended joint*).

Sambungan Menumpu

Cara penyambungan dan peletakan rel berikut ukuran jarak yang berkaitan pada sambungan macam ini dapat dilihat pada Gambar 3.11.



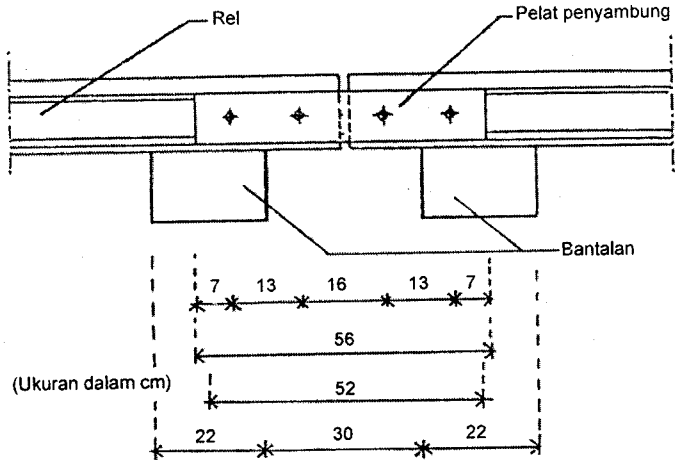
Gambar 3.11 Sambungan Menumpu

Pada sambungan rel menumpu ini ujung kedua rel diletakkan langsung di atas bantalan yang sama. Dengan peletakan ujung rel yang seperti itu benturan antara roda dan ujung rel menjadi lebih baik, tetapi perjalanan kereta api yang melewati sambungan ini akan terasa keras. Akibat yang lain ialah tekanan yang terjadi diteruskan kepada satu bantalan saja, oleh karenanya bantalan yang digunakan adalah bantalan yang dimensinya khusus (lebih tebal dan lebih lebar dibandingkan bantalan biasa) yaitu 15 cm x 35 cm x 200 cm.

Sambungan Menggantung

Pada macam sambungan menggantung ini ujung kedua rel disambung di antara dua bantalan, yang dengan demikian tekanan yang terjadi akan didistribusikan kepada dua bantalan penumpunya. Cara penyambungan dan peletakan rel serta ukuran-ukuran jarak yang berkaitan dengannya dapat dilihat pada Gambar 3.12.

Bantalan yang digunakan untuk menumpu sambungan ini berukuran 13 cm × 22 cm × 200 cm. Penentuan jarak antara kedua bantalan penumpu sebesar 30 cm adalah jarak minimum yang diperlukan untuk pekerjaan pemadatan balas di bawah bantalan.



Gambar 3.12 Sambungan menggantung

C. Penempatan Sambungan.

Penempatan sambungan rel pada sepur dapat dilakukan dengan dua macam penempatan, yaitu:

a) penempatan secara siku (*square joint*),

b) penempatan secara berselang seling (*staggered joint*).

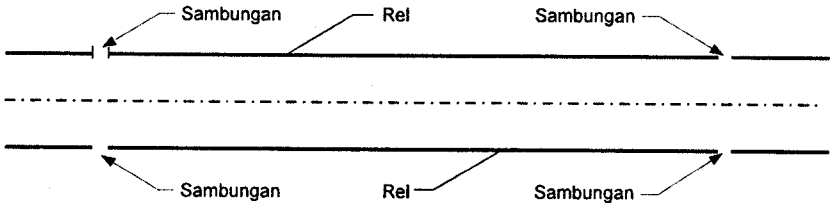
Penempatan Secara Siku

Pada penempatan secara siku, kedua sambungan rel berada pada satu garis (dengan toleransi penyimpangan maksimum sebesar 30 mm) yang tegak lurus terhadap sumbu sepur (lihat Gambar 3.13). Pada penempatan yang seperti ini, biasanya penyetelan rel di atas bantalan dilakukan di luar sepur. Setelah rel dan bantalan menjadi satu kesatuan (dengan menggunakan penambat rel), kemudian diangkat dan diletakkan di tempatnya.

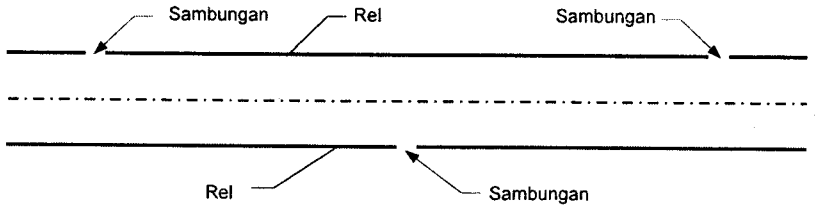
Keuntungan yang diperoleh pada penempatan secara siku-siku ialah pemasangan dan penyetelannya mudah, serta mudah pula dalam penggantian rel pendek ke rel panjang. Kerugian yang ada pada pemasangan ini ialah panjang relnya harus sama. Penempatan sambungan secara siku cocok untuk jalur lurus.

Penempatan Secara Berselang-seling

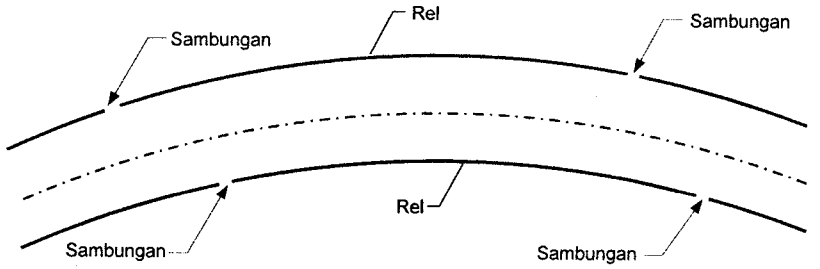
Sambungan rel dapat ditempatkan sedemikian sehingga kedua sambungan rel tidak berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur, disebut penempatan secara berselang-seling (Gambar 3.14). Pada penempatan seperti ini tidak terpengaruh oleh panjang rel yang digunakan, sehingga cocok untuk jalur di tikungan/lengkung (lihat Gambar 3.15), sedangkan kerugiannya ialah jumlah bantalan yang diperlukan menjadi bertambah.



Gambar 3.13 Penempatan sambungan rel secara siku



Gambar 3.14 Penempatan sambungan rel secara berselang-seling



Gambar 3.15 Penempatan sambungan rel secara berselang-seling di tikungan/lengkung

D. Sambungan di Jembatan

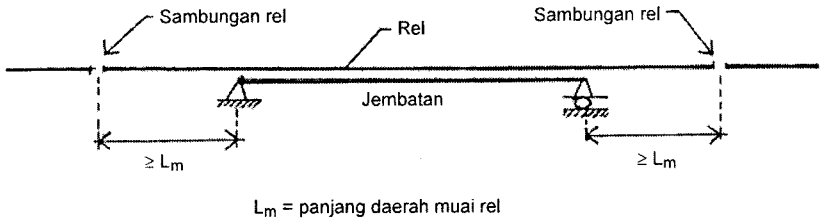
Beberapa ketentuan sambungan rel yang digunakan berkaitan dengan struktur jembatan ialah sebagai berikut:

a) tidak ada sambungan rel di dalam bentang jembatan. Hal ini adalah untuk mengurangi beban dinamis yang diterima oleh struktur jembatan,

b) rel dengan bantalan yang sudah menjadi satu kesatuan harus "bebas" (dapat bergeser) terhadap gelagar penumpunya (yang dimaksud gelagar penumpu ialah bagian dari struktur jembatan yang menumpu bantalan secara langsung). Hal ini perlu dilakukan sebagai usaha untuk membebaskan jembatan dari pembebanan akibat pemuaian rel,

c) apabila digunakan rel standar atau rel pendek, letak sambungan rel harus berada di luar pangkal jembatan, dan

d) apabila digunakan rel panjang, jarak antara sambungan rel dengan ujung jembatan, harus sama atau lebih besar dengan panjang daerah muai rel, seperti pada Gambar 3.16. Panjang daerah muai rel untuk berbagai tipe rel terdapat pada Tabel 3.6.



Gambar 3.16 Penempatan sambungan rel panjang pada jembatan.

Tabel 3.6 Panjang daerah muai rel (Lm)

Jenis bantalan	Tipe rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
Bantalan kayu	165 m	190 m	200 m	225 m
Bantalan beton	100 m	115 m	125 m	140 m

E. Celah Sambungan

Di tempat sambungan rel, antara dua ujung rel harus ada celah untuk memberi tempat bagi timbulnya perubahan panjang rel akibat perubahan suhu. Besarnya celah pada rel standar dan rel pendek tergantung pada suhu pemasangan dan panjang rel, sedangkan celah pada rel panjang tergantung pada suhu pemasangan, tipe rel, dan bantalan yang digunakan.

Celah Sambungan pada Rel Standar dan Rel Pendek

Besarnya celah sambungan pada rel standar dan rel pendek dapat dihitung dengan menggunakan cara yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero), yaitu dengan persamaan:

$$G = L \times \lambda \times (40 - t) + 2 \qquad (3.12)$$

dengan:

G : besarnya celah sambungan rel (mm),
L : panjang rel (mm),
λ : koefisien muai panjang rel, dan
t : suhu pemasangan rel (°C).

Dengan batasan maksimum besarnya celah sambungan rel ialah 16 mm.

Berdasarkan cara tersebut di atas dan dengan koefisien muai rel (λ) sebesar $1{,}2 \times 10^{-5}$, maka besarnya celah pada sambungan rel standar dan rel pendek, untuk semua tipe rel yang digunakan ialah seperti yang tercantum pada Tabel 3.7.

Celah Sambungan Rel pada Rel Panjang

Besar celah sambungan rel pada rel panjang dipengaruhi oleh suhu pemasangan, tipe rel, dan jenis bantalan yang digunakan. Untuk penghitungan besarnya celah sambungan rel panjang dapat digunakan formula yang digunakan oleh PT.Kereta Api (persero), yaitu:

$$G = \frac{E \times A \times \lambda \times (50 - t)^2}{2 \times r} + 2 \qquad (3.13)$$

dengan :

G : besarnya celah sambungan rel (mm),
E : modulus elastisitas rel,
A : luas penampang rel (mm^2),
λ : koefisien muai panjang rel,
t : suhu pemasangan (°C), dan
r : gaya lawan bantalan tiap satuan panjang.

Tabel 3.7 Besarnya celah sambungan rel untuk rel standar dan rel pendek pada semua tipe rel

Suhu pemasangan (°C)	Panjang rel (m)			
	25	50	75	100
	Celah (mm)			
≤ 20	8	14	16	16
22	7	13	16	16
24	7	12	16	16
26	6	10	15	16
28	6	9	13	16
30	5	8	11	14
32	4	7	9	12
34	4	6	7	9
36	3	4	6	7
38	3	3	4	4
40	2	2	2	2
42	2	1	0	0
44	1	0	0	0
≥ 46	0	0	0	0

Perhitungan menggunakan formula tersebut di atas dibatasi dengan batasan maksimum besarnya celah sambungan rel ialah 16 mm.

Berdasarkan pada formula/cara PT.Kereta Api (persero) tersebut di atas, besarnya celah sambungan rel panjang yang digunakan ialah seperti yang terlihat pada Tabel 3.8 (untuk bantalan kayu) dan Tabel 3.9 (untuk bantalan beton) berikut ini.

Tabel 3.8 Celah sambungan rel untuk rel panjang pada bantalan kayu

Suhu pemasangan (°C)	Tipe rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
	Celah (mm)			
≤ 28	16	16	16	16
30	14	16	16	16
32	12	14	15	16
34	10	11	12	13
36	8	9	10	10
38	6	6	8	8
40	5	4	6	6
42	4	3	5	5
44	3	3	3	4
46	2	3	3	3
≥ 48	2	2	2	2

F. Suhu Pemasangan

Suhu pemasangan ialah besarnya suhu pada saat rel dipasang dan disetel/ditata di lapangan pada kedudukan permanennya. Batas suhu minimum dan maksimum yang ditetapkan sesuai dengan kondisi cuaca dan iklim di Indonesia. Secara umum, batas suhu maksimum ialah suhu tinggi yang menghasilkan celah sebesar 2 mm, sedangkan batas suhu minimum ialah suhu tertinggi yang menghasilkan celah sebesar 6 mm. Khusus untuk rel standar dan rel pendek yang panjang-nya 50 m batas suhu minimum ialah 20°C. Batas suhu minimum dan maksimum dimaksud tercantum pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 3.9 Celah sambungan rel untuk rel panjang pada bantalan beton

Suhu pemasangan (°C)	Tipe rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
	Celah (mm)			
≤ 22	16	16	16	16
24	14	16	16	16
26	13	14	15	16
28	13	12	13	14
30	10	11	11	12
32	8	9	10	10
34	7	8	8	9
36	6	6	7	7
38	5	5	5	6
40	4	4	4	5
42	3	3	3	4
44	3	3	3	3
≥ 46	2	2	2	2

Tabel 3.10 Batas suhu pemasangan rel standar dan rel pendek

Panjang rel (m)	Suhu (°C)	
	Minimum	Maksimum
25	20	44
50	20	42
75	26	40
100	30	40

Tabel 3.11 Batas suhu pemasangan rel panjang pada bantalan kayu

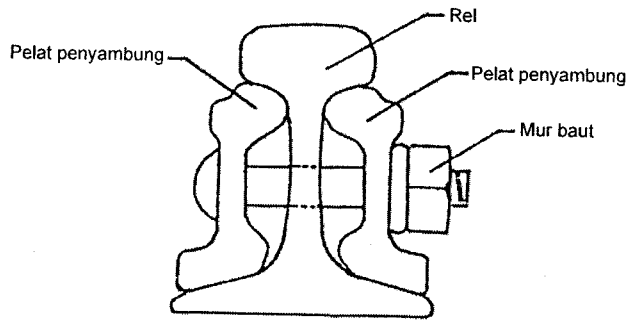
Tipe rel	Suhu (°C)	
	Minimum	Maksimum
R.42	28	46
R.50	30	48
R.54	30	48
R.60	32	48

Tabel 3.12 Batas suhu pemasangan rel panjang pada bantalan beton

Panjang rel (m)	Suhu (°C)	
	Minimum	Maksimum
R.42	22	46
R.50	24	46
R.54	24	46
R.60	26	46

G. Pelat Penyambung

Pada sambungan rel, digunakan sepasang pelat penyambung yang mempunyai panjang dan ukuran yang sama. Pemasangan pelat penyambung sambungan rel ialah seperti yang tergambar pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Pemasangan pelat penyambung

Untuk mendapatkan luas bidang singgung yang maksimum antara pelat penyambung dengan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel maka:

a) kemiringan permukaan bawah kepala rel harus sama dengan kemiringan bidang singgung bagian atas pelat penyambung,

b) kemiringan permukaan atas kaki rel harus sama dengan kemiringan bidang singgung bagian bawah pelat penyambung.

Kemiringan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel sesuai dengan tipe rel dapat dilihat pada Tabel.3.13 berikut ini.

Tabel 3.13. Kemiringan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel

Tipe rel	Kemiringan permukaan bawah kepala rel	Kemiringan permukaan atas kaki rel
R.42	1 : 4	1 : 4
R.50	1 : 2,75	1 : 2,75
R.54	1 : 2,75	1 : 2,75
R.60	1 : 2,93	1 : 2,75

Sesuai dengan fungsinya, pelat penyambung harus mempunyai kuat tarik yang cukup, oleh karena itu maka kuat tarik bahan pelat penyambung disyaratkan tidak boleh kurang dari 58 kg/mm^2.

Di Indonesia sekarang ini digunakan dua ukuran standar pelat penyambung, yaitu:

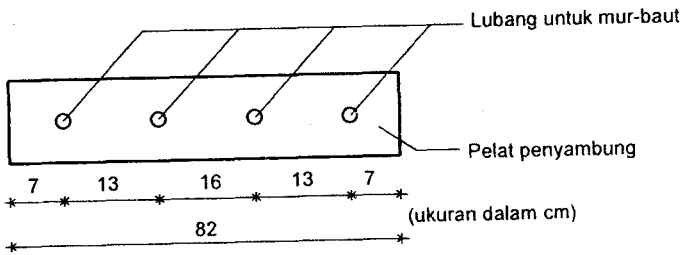
a) ukuran standar pelat penyambung untuk tipe-tipe rel R.42, R.50, dan R.54,

b) ukuran standar pelat penyambung untuk tipe rel R.60.

Ukuran selengkapnya ialah seperti di bawah ini.

Pelat Penyambung untuk R.42, R.50, R.54

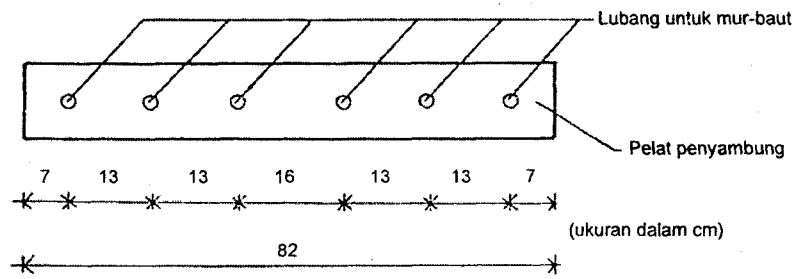
Tebal pelat yang digunakan 20 mm, diameter lubang mur-baut 24 mm, dan tinggi pelat disesuaikan dengan dimensi masing-masing rel (lihat Gambar 3.18).



Gambar 3.18 Pelat penyambung untuk R.42, R.50 dan R.54

Pelat Penyambung untuk R.60

Jarak lubang mur-baut pada pelat penyambung untuk R.60 dapat dilihat pada Gambar 3.19. Tebal pelat penyambung 20 mm, diameter lubang untuk mur-baut 25 mm.



Gambar 3.19 Pelat penyambung untuk R.60

3.3 BANTALAN

3.3.1 Fungsi Bantalan

Bantalan jalan rel mempunyai fungsi sebagai berikut:

a) mendukung rel dan meneruskan beban dari rel ke balas dengan bidang sebaran beban lebih luas sehingga memperkecil tekanan yang dipikul balas,

b) mengikat/memegang rel (dengan penambat rel) sehingga gerakan rel arah horisontal tegak lurus sumbu sepur ataupun arah membujur searah sumbu sepur dapat ditahan, sehingga jarak antara rel dan kemiringan kedudukan rel dapat dipertahankan,

c) memberikan stabilitas kedudukan sepur di dalam balas (lihat uraian tentang balas), dan

d) menghindarkan kontak langsung antara rel dengan air tanah.

Mengingat fungsi tersebut di atas maka bantalan harus kuat menahan beban dan kuat dalam mengikat penambat rel.

3.3.2 Bentuk Bantalan

Terdapat dua bentuk bantalan, yaitu: a) bantalan arah membujur, b) bantalan arah melintang.

Apabila digunakan bantalan arah membujur, air hujan dapat terbendung, sehingga balas yang digunakan harus mampu menyalurkan dengan baik air hujan yang terbendung tersebut. Untuk itu maka frekuensi pemeliharaan dan pembersihan balas menjadi tinggi, akibatnya biaya yang diperlukan menjadi besar. Selain itu, untuk menjaga agar jarak antar bantalan membujur dapat terjaga, diperlukan konstruksi penambat arah arah melintang. Geometri membujur bantalan arah membujur harus mengikuti geometri membujur jalan rel dan harus menerus, oleh karena itu maka bahan yang paling cocok untuk bantalan arah membujur ialah ialah beton.

Untuk selanjutnya yang akan diuraikan berikut ialah *bantalan arah melintang.*

3.3.3 Jenis Bantalan

Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja, atau beton, sehingga dikenal jenis-jenis bantalan (sesuai dengan bahannya) sebagai berikut :

a) bantalan kayu,
b) bantalan baja, dan
c) bantalan beton.

Pemilihan jenis bantalan yang digunakan adalah berdasarkan atas kelas jalan rel menurut peraturan konstruksi jalan rel yang berlaku (lihat Standar Jalan Rel di Indonesia pada Bab II).

A. Bantalan Kayu

Bantalan kayu digunakan pada jalan rel di Indonesia karena selain mudah dibentuk juga bahannya mudah didapat. Agar supaya dapat memenuhi fungsinya, maka bantalan kayu harus cukup keras sehingga mampu menahan tekanan, penambat rel yang dipasang pada bantalan tidak mudah lepas, dan harus tahan lama. Untuk itu maka bahan kayu yang digunakan selain harus kuat menahan beban yang bekerja padanya, juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a) utuh dan padat,
b) tidak terdapat mata kayu,
c) tidak mengandung unsur kimia yang tidak baik bagi komponen jalan rel yang terbuat dari logam,
d) tidak ada lubang bekas ulat atau binatang lainnya,

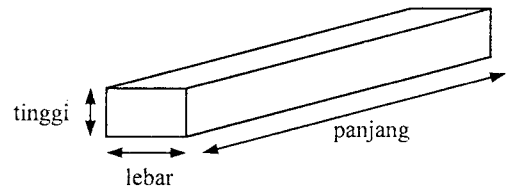
e) tidak ada tanda-tanda permulaan terjadi pelapukan, dan
f) apabila kayu diawetkan, pengawetan harus merata dan sempurna.

Sesuai dengan persyaratan bahan kayu dan fungsi bantalan, maka tidak semua jenis kayu dapat digunakan. Bantalan kayu harus dari kayu mutu A, dengan dengan kelas kuat I atau II dan kelas awet I atau II. Jenis kayu yang biasa digunakan oleh PT. Kereta Api (persero) untuk bantalan ialah kayu jati dan kayu besi. Bantalan dengan jenis kayu jati dapat tahan 16 sampai 20 tahun (bahkan ada yang lebih dari 20 tahun). Kayu besi dapat digunakan karena keras, tapi mudah pecah dan kadang-kadang terdapat kandungan asam yang tidak baik bagi logam penambat rel.

Bentuk dan Dimensi Bantalan Kayu

Bentuk dan dimensi bantalan kayu yang akan diuraikan berikut ialah untuk lebar sepur 1067 mm.

Bentuk: Lihat Gambar 3.20



Gambar 3.20 Bentuk bantalan kayu

Dimensi bantalan kayu berikut toleransi dimensi yang masih diijinkan ialah sebagai berikut (Tabel. 3.14).

Tabel 3.14 Dimensi bantalan kayu dan toleransi yang masih diijinkan di Indonesia

No.	Letak bantalan	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
1.	Pada jalan lurus	2000 (+40, -20)	220 (+20, -10)	130 (+10, -0)
2.	Pada jembatan	1800 (+40, -20)	220 (+20, -10)	200 (+10, -0)

Keterangan: angka dalam kurung ( ) ialah toleransi yang masih diijinkan.

Japanese National Railways (JNR) menggunakan standar dimensi bantalan kayu (panjang × lebar × tinggi, dalam mm) 2100 × 200 × 140.

Selain standar dimensi yang digunakan tersebut di atas, terdapat persyaratan bahwa bentuk penampang melintang *pada seluruh tubuh bantalan* kayu harus berupa empat persegi panjang, bidang sisi atas dan sisi bawah harus rata dan sejajar.

Keunggulan dan Kelemahan Bantalan Kayu

Akibat dari sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan kayu, maka penggunaan bantalan kayu mempunyai keunggulan yang menonjol sebagai berikut :

a) elastisitas baik, mampu meredam getaran, sentakan dan kebisingan,
b) ringan, mudah dibentuk sesuai ukuran yang dikehendaki, dan
c) penggantian bantalan mudah dilakukan.

Kelemahan utama yang ada pada bantalan kayu ialah:

a) akibat dari pelapukan dan serangan binatang-binatang kecil (rayap dan sejenisnya), umur penggunaan menjadi berkurang,
b) kayu merupakan bahan yang mudah terbakar, dan
c) nilai sisa rendah.

Kerusakan Bantalan Kayu

Kerusakan yang terjadi pada bantalan kayu terutama disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

a) tekanan rel (dengan beban dinamisnya),
b) penambat rel, dan
c) pelapukan kayu.

Agar supaya kerusakan akibat tekanan rel dapat dikurangi maka perletakan rel pada bantalan harus baik. Sebagai usaha untuk memperpanjang umur bantalan kayu, antara rel dan bantalan perlu dipasang "Pelat Landas". Dengan pemasangan pelat landas yang seperti itu akan mengurangi kerusakan bantalan akibat beban dinamis yang diteruskan melalui rel kepada bantalan.

Perancangan Dimensi

Perancangan dimensi bantalan kayu berdasarkan pada teori tegangan lentur, yaitu:

$$\sigma = \frac{M \times y}{I_x} \qquad (3.14)$$

karena potongan penampangnya persegi panjang, maka:

$$\sigma = \frac{6 \times M}{b.h^2} \qquad (3.15)$$

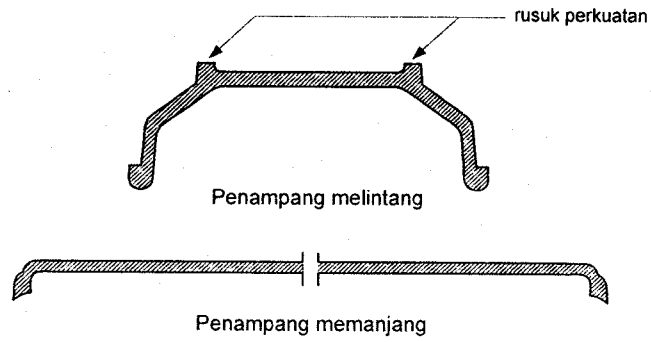
Momen pada bantalan kayu dihitung dengan teori balok berhingga (*finite beam*) di atas tumpuan elastis (*elastic foundation*). Adapun momen maksimum yang dapat dipikul oleh bantalan kayu dihitung berdasarkan tegangan ijin lentur kayu (σ_u) sesuai kelasnya, yaitu:

a) kayu kelas I : $\sigma_u = 125$ kg/cm^2,
b) kayu kelas II : $\sigma_u = 83$ kg/cm^2.

B. Bantalan Baja

Bentuk dan Dimensi Bantalan Baja

Bentuk penampang melintang bantalan baja harus mempunyai bentuk kait *ke luar* pada ujung bawahnya. Bentuk penampang memanjang bantalan baja harus mempunyai bentuk kait *ke dalam* pada ujung bawahnya (lihat Gambar 3.21)



Gambar 3.21 Penampang bantalan baja

Bentuk penampang melintang dan memanjang seperti tersebut di atas memberikan cengkeraman pada balas sehingga memberikan stabilitas terhadap geseran. Cengkeraman ini penting karena berat sendiri bantalan baja yang kecil yaitu sekitar 47,1 kg dan gesekan antara dasar bantalan dan balas juga kecil. Adanya rusuk perkuatan di bagian atas dimaksudkan agar pelat landas tidak goyang.

Dimensi bantalan baja pada jalur lurus untuk lebar sepur 1067 mm ialah: panjang 2000 mm, lebar atas 144 mm, lebar bawah 232 mm, tebal baja minimum 7 mm.

Syarat Kekuatan

Bantalan baja minimal harus mampu menahan momen sebesar 650 kg-m, baik pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rel. Tegangan ijin minimal bantalan baja ialah 1600 kg/cm^2.

Keunggulan dan Kelemahan Bantalan Baja

Keunggulan yang terdapat pada bantalan baja di antaranya ialah:

a) ringan dan mudah diangkut,
b) tidak mudah lapuk, tidak diserang oleh binatang-binatang kecil (rayap dan sejenisnya),
c) elastisitas yang lebih besar sehingga retak-retak seperti yang terjadi pada bantalan kayu dan bantalan beton dapat dihindari,
d) pada balas yang baik, bantalan baja lebih tahan lama dibandingkan dengan bantalan kayu. Umur layanan bantalan baja dapat mencapai 30 – 40 tahun (Mundrey, 2000),
e) mudah dan relatif murah dalam pembuatannya, dan
f) nilai sisa relatif lebih tinggi dibandingkan bantalan kayu.

Kelemahan pada bantalan baja ialah:

a) dapat terkorosi dan berkarat; yang apabila ini terjadi dapat lebih mudah retak,
b) konduktor listrik sehingga tidak cocok untuk kereta listrik yang aliran listriknya berada di bawah (diletakkan di atas bantalan).

Karena bantalan baja dapat berkarat, maka untuk mengurangi timbulnya karat, bantalan baja harus selalu dalam keadaan kering.

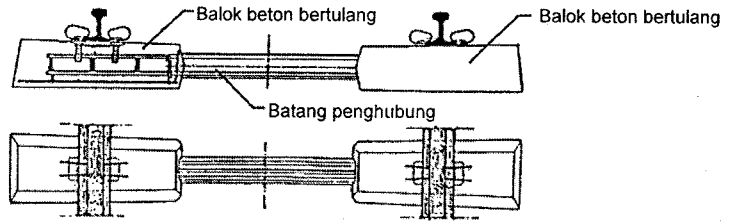
Untuk itu struktur di bawahnya (balas) harus mudah meloloskan air. Akibat dari persyaratan bahwa bantalan baja harus selalu dalam keadaan kering, maka pada perlintasan jalan rel dan tempat-tempat lain yang sering terendam air, tidak boleh menggunakan bantalan baja.

C. Bantalan Beton

Terdapat dua macam bantalan beton, yaitu: a) Bantalan beton blok ganda (*bi-block*), b) Bantalan beton blok tunggal (*monolithic*).

Bantalan Beton Blok Ganda

1. Bentuk : lihat Gambar 3.22.



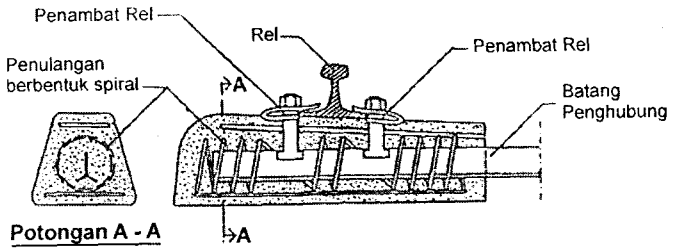
Gambar 3.22 Bantalan beton blok ganda

Terdiri atas dua buah blok beton bertulang yang satu dengan lainnya dihubungkan oleh batang baja. Batang penghubung dapat menggunakan rel bekas.

2. Perkembangan

Perancis menggunakannya segera setelah Perang Dunia II, disebut tipe Magneux. Hasil penelitian selanjutnya terhadap perilaku bantalan ini (1949) menghasilkan bantalan beton blok ganda tipe R.S. (karena dibuat oleh R. Someville). Dibandingkan dengan bantalan kayu, bantalan ini lebih stabil karena lebih berat. Pada bantalan R.S. ini penulangannya ialah seperti pada Gambar 3.23 berikut.

Penulangan spiral seperti gambar di atas berfungsi sebagai penahan getaran.



Gambar 3.23 Penulangan pada bantalan beton blok ganda tipe R.S

3. Bahan

Mutu bahan bantalan beton meliputi mutu beton dan mutu baja tulangannya, yaitu sebagai berikut:

a) mutu campuran beton harus mempunyai kuat tekan tidak kurang dari 385 kg/cm^2,
b) mutu baja untuk tulangan lentur tidak kurang dari U-32, dan
c) mutu baja untuk batang penghubung tidak kurang dari U-32.

4. Dimensi

Dimensi bantalan beton blok ganda ialah sebagai berikut:

a) Pada jalur lurus, satu buah bantalan beton blok ganda mempunyai ukuran: panjang 700 mm, lebar 300 mm, tinggi rerata 200 mm,
b) Pada bagian jalur yang lain (tikungan/lengkung), hanya panjang batang penghubung yang disesuaikan,
c) Panjang batang penghubung, harus dibuat sedemikian sehingga cukup untuk meletakkan penambat rel.

Bantalan Beton Blok Tunggal

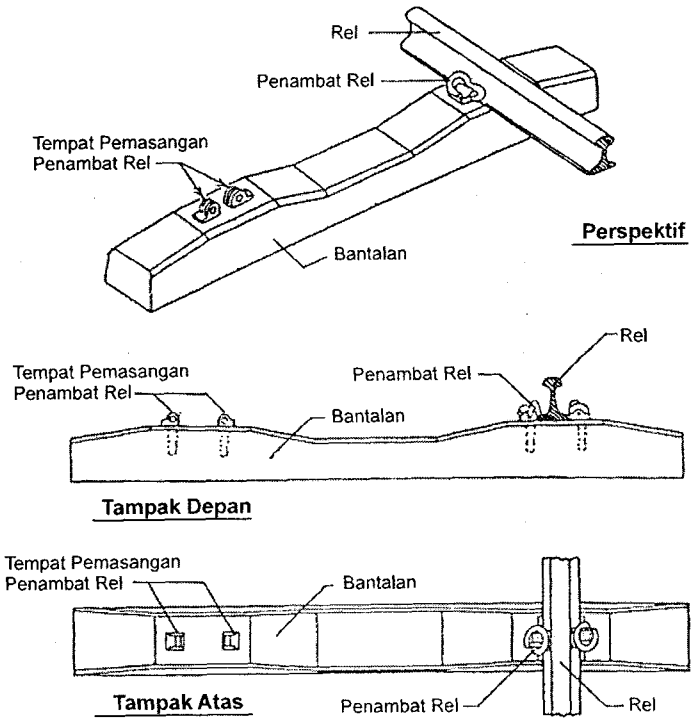
1. Bentuk

Lihat Gambar 3.24.

2. Perkembangan

Penelitian terhadap penggunaan bantalan beton blok tunggal di Eropa telah dimulai sejak sebelum Perang Dunia II, tetapi pengunaan dalam jumlah yang banyak baru terjadi setelah perang dunia tersebut berakhir. Untuk mengurangi retak-retak yang timbul pada bagian yang

mengalami tegangan tarik digunakan beton Pra-tegang (*Prestress*). Dari sistem penegangan yang digunakan, terdapat dua macam bantalan beton blok tunggal, yaitu: a) *Pretension*, b) *Posttension*.



Gambar 3.24 Bantalan beton blok tunggal

a. Bantalan Beton Blok Tunggal *Pretension*

1. Bahan

Bahan yang meliputi campuran beton dan baja tulangan dengan mutu sebagai berikut:

a) Mutu campuran beton mempunyai kuat tekan tidak kurang dari 500 kg/cm^2,
b) Mutu baja tulangan geser tidak kurang dari U-24,
c) Mutu baja prategang mempunyai tegangan putus minimum 17000 kg/cm^2.

2. Perancangan

Untuk beban gandar 18 ton, bantalan beton blok tunggal *pretension* harus mampu memikul momen paling sedikit sebesar (Tabel 3.15):

Tabel 3.15 Bagian bantalan beton blok tunggal *pretension* dan momen minimum yang ditahan.

Bagian	Momen (kg-m)
Bawah Rel	1500
Tengah Bantalan	765

Bentuk penampang bantalan beton blok tunggal; *pretension* harus menyerupai trapesium, dengan luas penampang bagian tengah bantalan tidak kurang dari 85 % luas penampang bagian bawah rel.

b. Bantalan Beton Blok Tunggal *Posttension*

1. Bahan

Persyaratan sama dengan pada bantalan beton blok tunggal *pretension.*

2. Perancangan

Untuk beban gandar 18 ton, bantalan beton blok tunggal *posttension* harus mampu memikul momen paling sedikit sebesar (Tabel 3.16):

Tabel 3.16 Bagian bantalan beton blok tunggal *posttension* dan momen minimum yang ditahan

Bagian	Momen (kg-m)
Bawah Rel	1500
Tengah Bantalan	765

Bentuk penampang bantalan beton blok tunggal posttension harus menyerupai trapesium, dengan luas penampang bagian tengah bantalan tidak kurang dari 85 % luas penampang bagian bawah rel.

Keunggulan dan Kelemahan Bantalan Beton

Keunggulan yang ada pada bantalan beton ialah:

a) Sabilitasnya baik, dapat menjaga lebar sepur dengan baik,
b) umur konstruksi panjang,
c) tidak dapat terbakar,
d) pengendalian mutu bahan mudah dilaksanakan, cocok untuk produksi masal (*mass production*), dan
e) beton bukan konduktor listrik, sehingga dapat digunakan untuk sepur dengan elektrifikasi.

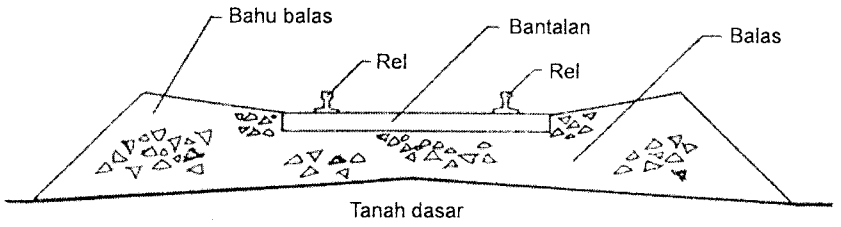
Kelemahan bantalan beton ialah:

a) kurang elastik dibandingkan dengan bantalan kayu,
b) pemasangan secara manual sulit karena berat bantalan,
c) kemungkinan kerusakan pada proses pengangkutan dan pengangkatan,
d) tidak meredam getaran dan kebisingan (perlu konstruksi tambahan untuk meredam), dan
e) nilai sisa sangat kecil.

Bantalan beton mempunyai berat sendiri yang cukup besar, yaitu antara 160 – 200 kg. Hal ini akan memberikan kestabilan sepur yang lebih baik terhadap gaya-gaya yang bekerja, dan lebih cocok bagi kereta api dengan tonase yang besar ataupun dengan kecepatan tinggi.

3.3.4 Posisi Bantalan Terhadap Balas

Posisi/letak bantalan pada balas harus sedemikian sehingga kedudukan bantalan akan stabil (lihat Gambar 3.25).



Gambar 3.25 Posisi bantalan pada balas

Dengan posisi bantalan yang "tertanam" pada balas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.25 di atas, bantalan akan lebih stabil terhadap kemungkinan bergeser baik ke arah samping maupun ke arah longitudinal.

3.3.5 Jarak Bantalan

Secara ideal jarak bantalan atau jumlah bantalan dalam satu satuan panjang rel tergantung pada hal-hal berikut:

a) tipe, potongan melintang, dan kekuatan rel,

b) jenis dan kekuatan bantalan,

c) balas tempat bantalan diletakkan, dan

d) beban gandar, volume dan kecepatan kereta api.

Secara praktis di Indonesia digunakan jarak bantalan sebagai berikut:

a) jarak bantalan pada lintas lurus ialah 60 cm, sehingga jumlah bantalan yang dipasang adalah 1667 buah untuk tiap km panjang,

b) pada tikungan/lengkung, jarak bantalan ialah sebesar 60 cm (diukur pada rel luar).

Jarak ini seragam sepanjang jalur, kecuali pada bantalan tempat sambungan rel berada (lihat uraian mengenai sambungan rel).

Bab IV

PENAMBAT REL DAN BALAS

4.1 PENGANTAR

Pada Bab III telah diuraikan tentang komponen struktur jalan rel yang berupa rel dan bantalan. Komponen jalan rel yang berupa penambat rel dan balas akan dibahas pada Bab IV ini.

4.2 PENAMBAT REL

4.2.1 Umum

Penambat Rel ialah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian sehingga kedudukan rel menjadi tetap, kokoh dan tidak bergeser terhadap bantalannya. Dengan penambat rel ini jarak antara kedua rel, yaitu lebar sepur akan tetap. Semakin berat beban dan semakin tinggi kecepatan kereta api yang melewatinya, harus semakin lebih kokoh penambat relnya.

4.2.2 Jenis Penambat Rel

Sesuai dengan kemampuan elastisitas yang dapat diberikan oleh penambat rel, terdapat dua jenis penambat rel, yaitu:

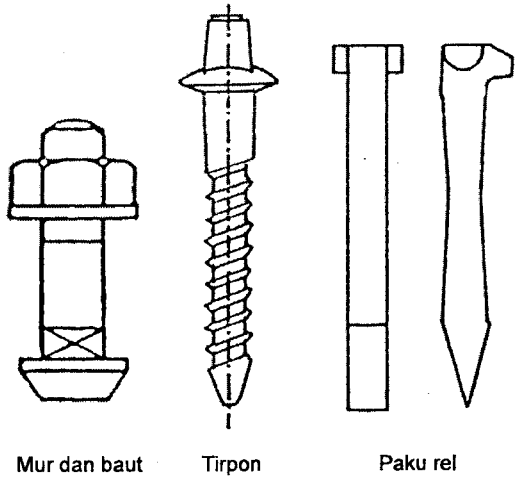
a) penambat kaku,

b) penambat elastis.

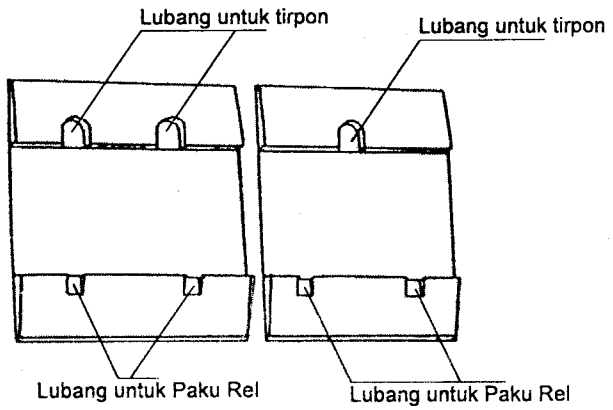
Penambat Kaku

Penambat kaku terdiri atas paku rel, tirpon (*tirefond*) atau mur dan baut, dengan atau tanpa pelat landas. Komponen penambat rel dan

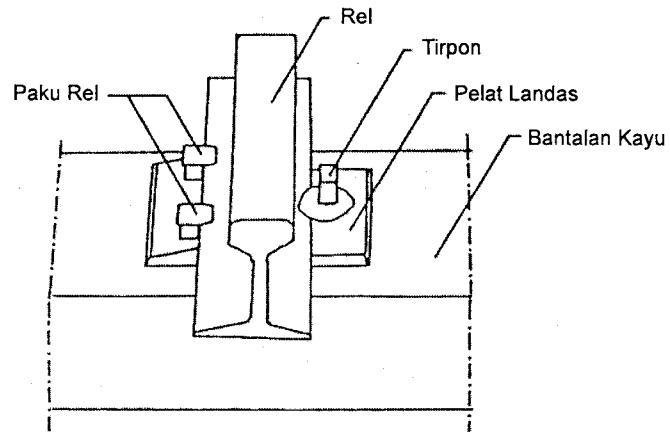
pemasangannya dapat dilihat pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.5. Gambar 4.1 ialah gambar mur dan baut; tirpon dan paku rel; Gambar 4.2 ialah gambar pelat landas; Gambar 4.3 menunjukkan penambat kaku pada bantalan kayu menggunakan paku rel, tirpon dan pelat landas. Gambar 4.4 ialah penambat kaku pada bantalan kayu yang menggunakan tirpon dan pelat landas; sedangkan Gambar 4.5 ialah penambat kaku pada bantalan baja menggunakan mur-baut dan pelat landas.



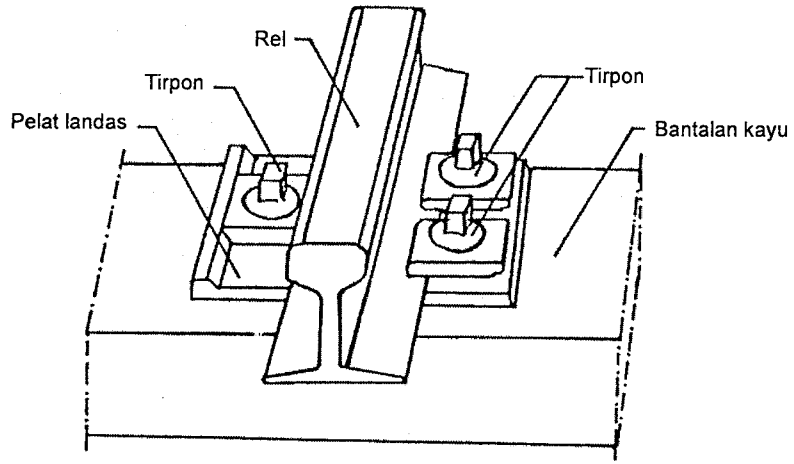
Gambar 4.1. Mur dan baut, tirpon dan paku rel



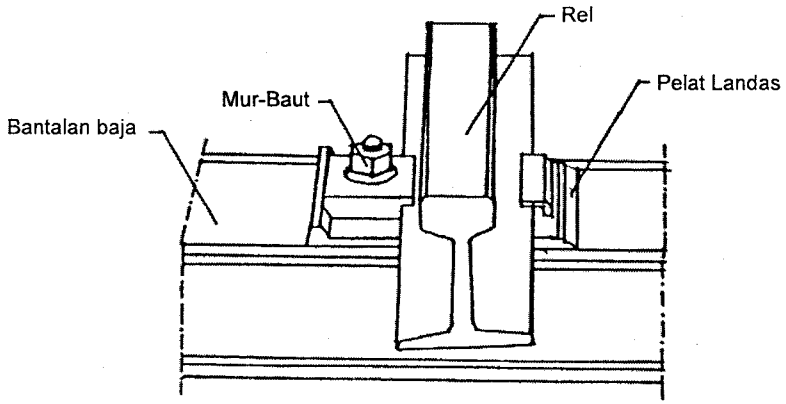
Gambar 4.1. Pelat landas



Gambar 4.3. Penambat kaku pada bantalan kayu menggunakan pelat landas, paku rel dan tirpon



Gambar 4.4. Penambat kaku pada bantalan kayu menggunakan pelat landas dan tirpon



Gambar 4.5. Penambat kaku pada bantalan baja menggunakan pelat landas dan mur-baut

Penambat Elastis

Salah satu penyebab kerusakan bantalan ialah terjadinya getaran dengan frekuensi tinggi pada rel yang diakibatkan oleh kereta api yang bergerak di atasnya. Untuk mengurangi pengaruh getaran pada rel terhadap bantalan digunakan penambat yang memiliki kemampuan meredam getaran, yaitu Penambat Elastis. Selain dapat meredam getaran, penambat elastis juga mampu memberikan kuat jepit (*clamping force*) yang tinggi dan mampu memberikan perlawanan rangkak (*creep resistance*). Pada jalur ganda (*double track*) yang sepurnya hanya dilalui satu arah saja dan pada jalan rel yang menanjak, apabila penambat relnya tidak baik dapat terjadi gerakan rangkak (*creeping*), oleh karena itu penambat rel yang dapat memberikan perlawanan rangkak akan sangat bermanfaat. Mengingat pentingnya masalah perlawanan terhadap gerakan rangkak, maka American Railway Engineering Association (AREA) mensyaratkan bahwa setiap penambat rel yang digunakan harus mampu memberikan perlawanan terhadap rangkak statis minimum sebesar 10,7 kN.

Terdapat dua macam penambat elastis yaitu:

a) penambat elastis tunggal (*single elastic fastening*),

b) penambat elastis ganda (*double elastic fastening*).

Penambat elastis tunggal terdiri atas pelat landas, pelat atau batang jepit elastis, tirpon, mur dan baut. Sedangkan secara umum, penambat elastis ganda terdiri atas pelat landas, pelat atau batang jepit elastis, (karet) alas rel, tirpon, mur dan baut. Pada bantalan beton, tidak diperlukan pelat landas, tetapi tebal karet alas (*rubber pad*) rel harus disesuaikan dengan kecepatan maksimumnya.

4.2.3 Penggunaan Penambat Rel

Penambat kaku sekarang tidak boleh digunakan lagi untuk semua kelas jalan rel di Indonesia. Penambat elastis tunggal hanya boleh digunakan pada jalan rel kelas IV dan V, sedangkan penambat elastis ganda pada dasarnya dapat digunakan pada semua kelas jalan rel, tetapi tidak dianjurkan untuk jalan rel kelas V.

4.2.4 Tipe Penambat Rel

Terdapat beberapa tipe penambat rel yang digunakan. Uraian berikut hanya membicarakan beberapa tipe saja dari jenis penambat rel elastis. Perlu disampaikan di sini bahwa beberapa tipe penambat rel dimaksud telah mempunyai hak paten.

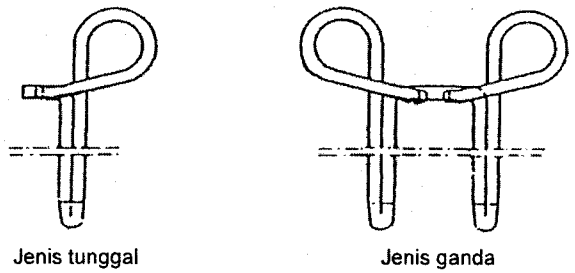
Penambat Rel Dorken

Sesuai dengan bentuknya, penambat rel Dorken dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu:

a) jenis tunggal (*single shank*),

b) jenis ganda (*double shank*).

Untuk lebih jelas, lihat Gambar 4.6.



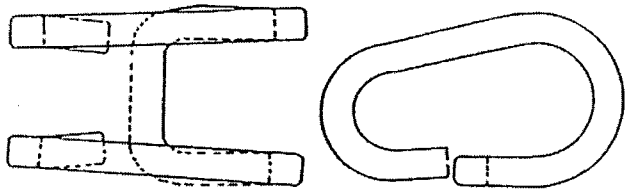
Gambar 4.6. Penambat rel tipe Dorken

Kuat jepit yang dapat dihasilkan oleh penambat rel tipe Dorken untuk menjepit rel ialah:

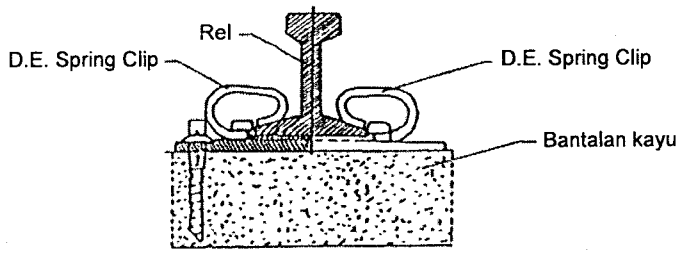
a) jenis tunggal : 475 kgf,
b) jenis ganda : 850 kgf.

Penambat Rel D.E. (D.E.Spring Clip)

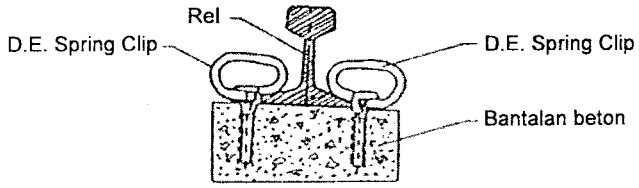
Bentuk penambat rel D.E. (D.E.Spring Clip) berikut pemasangannya dapat dilihat pada Gambar 4.7. Gambar 4.7 (a) ialah bentuk penjepit D.E. Spring Clip, Gambar 4.7 (b) menggambarkan pemasangannya pada bantalan kayu. Gambar 4.7 (c) menggambarkan pemasangannya pada bantalan beton.



(a) D.E. Spring Clip



(b) D.E. Spring Clip pada bantalan kayu



(b) D.E. Spring Clip pada bantalan beton

Gambar 4.7 Penambat rel D.E. (D.E.Spring Clip)

Penambat rel tipe D.E.(D.E.Spring Clip) mempunyai karakteristik sebagai berikut:

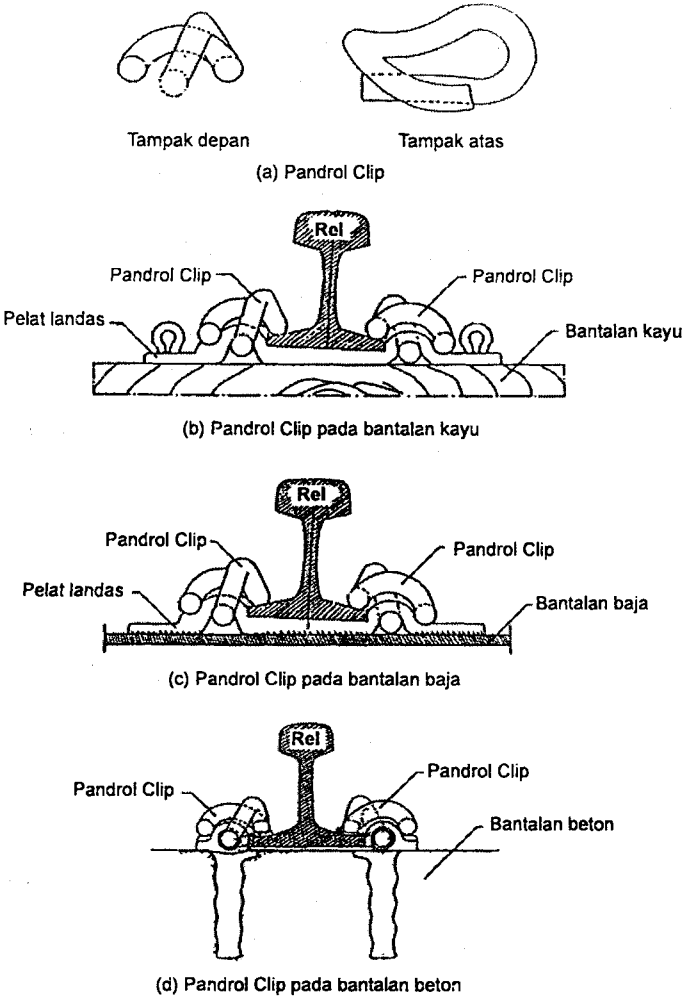
a) kuat jepit dapat mencapai 1000 kgf,
b) dapat melawan gaya puntir,
c) komponen penambat rel tidak banyak dan sederhana, dan
d) bila digunakan alas karet (*rubber pad*) di bawah kaki rel, menjadi penambat elastis ganda.

Penambat Rel Pandrol

Penambat rel tipe ini merupakan suatu batang baja dengan diameter 19 mm yang dibentuk spiral, yang salah satu sisinya menekan kaki rel dan sisi yang lain berlindung pada suatu penahan (lihat Gambar 4.8). Gambar 4.8 (a) ialah gambar penambat rel tipe Pandrol (Pandrol Clip); Gambar 4.8 (b) ialah Pandrol untuk bantalan kayu, Gambar 4.8 (c) ialah Pandrol untuk bantalan baja, sedangkan Gambar 4.8 (d) menggambarkan pemasangannya pada bantalan beton.

Karakteristik penambat rel Pandrol ialah:

a) kuat jepit cukup tinggi, minimum 600 kgf,
b) waktu dilewati rangkaian kereta api tidak menimbulkan suara berisik,
c) mudah dikerjakan,
d) penambatan kuat, tidak mudah lepas,
e) jumlah komponen sedikit, dan sederhana, dan
f) bila digunakan alas karet (*rubber pad*) di bawah kaki rel, menjadi penambat elastis ganda.



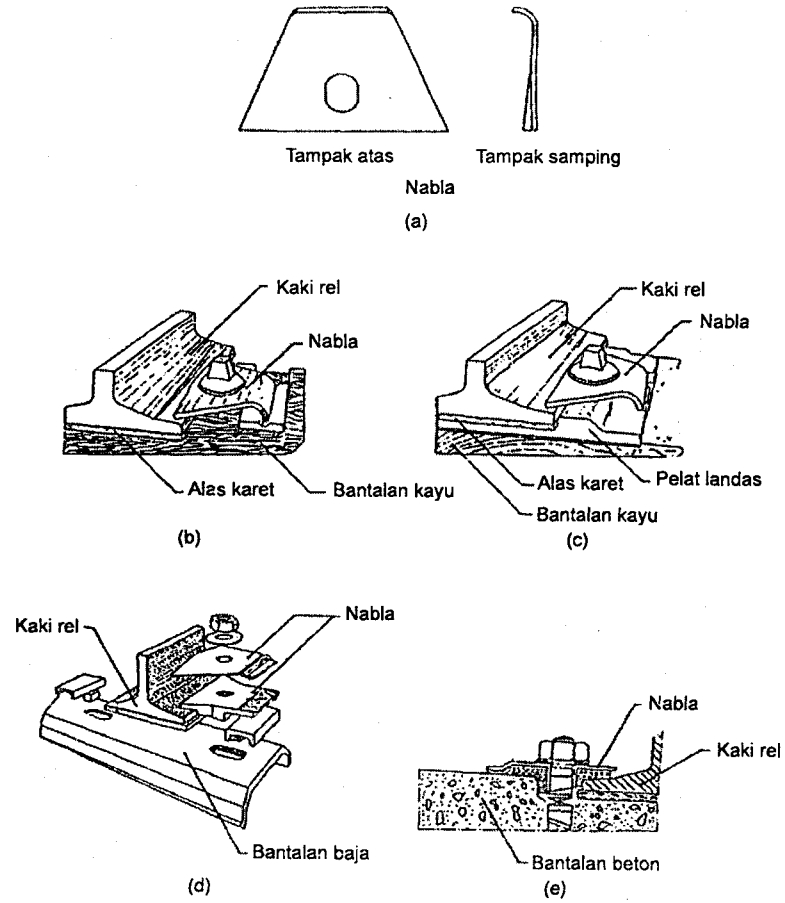
Gambar 4.8 Penambat rel Pandrol

Penambat Rel Nabla

Gambar penambat rel Nabla dapat dilihat pada Gambar 4.9, yang terdiri atas beberapa gambar, seperti penjelasan berikut.

Gambar 4.9 (a) adalah bentuk penjepit Nabla. Gambar 4.9 (b) dan Gambar 4.8 (c) ialah pemasangannya pada bantalan kayu. Terdapat perbedaan bentuk antara *plate* pada Gambar 4.9 (b) dan *baseplate*

pada Gambar 4.9 (c) dan perbedaan peletakan alas karet (*rubber pad*) di bawah kaki rel antara Gambar 4.9 (b) dan Gambar 4.9 (c). Pada pemasangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 (b) tidak ada pelat landas yang menopang rel, sedangkan pemasangan seperti pada Gambat 4.9 (c) digunakan pelat landas di bawah kaki rel. meskipun demikian keduanya menggunakan alas karet di bawah kaki rel untuk mendapatkan elastisitas yang lebih baik pada penambat relnya. Gambar 4.9 (d) menjelaskan pemasangannya pada bantalan baja, dan Gambar 4.9 (e) ialah pemasangannya pada bantalan beton.



Gambar 4.9 Penambat rel tipe Nabla

Karakteristik yang menonjol pada penambat rel Nabla ialah:

a) kuat jepit mencapai 1400 kgf,
b) dengan dipasangnya *rubber pad* di bawah kaki rel menjadi penambat elastis ganda, dan
c) komponen cukup banyak (khususnya untuk bantalan baja dan bantalan beton), sehingga diperlukan ketelitian dalam pemasangan dan pemeliharaan.

Penambat Rel Tipe F

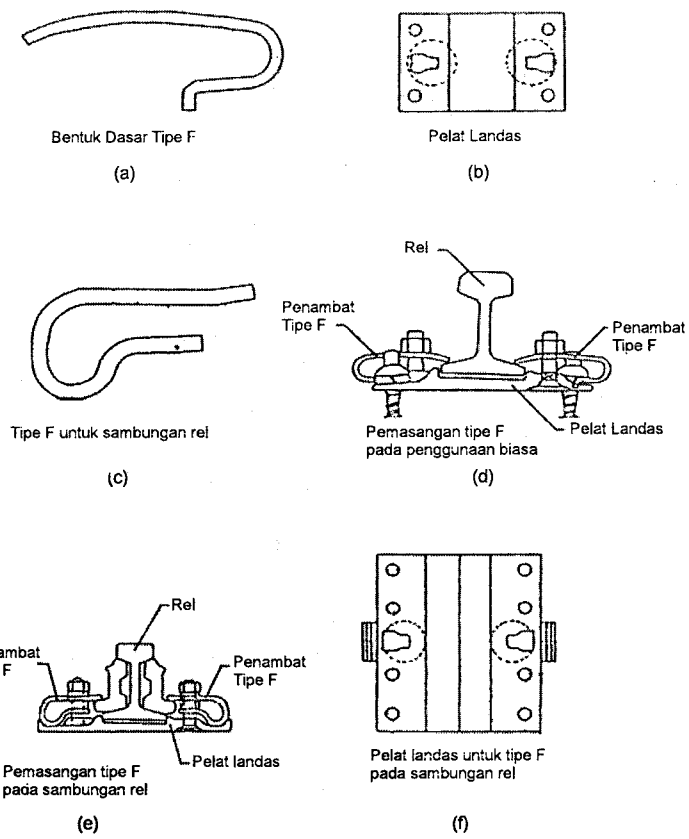
Gambar penambat rel tipe F dapat dilihat Gambar 4.10. Gambar 4.10 (a) ialah bentuk dasar konstruksi Penambat Rel Tipe F; Gambar 4.10 (b) ialah gambar *base plate* atau pelat landas. Gambar 4.10 (c) ialah penambat rel tipe F untuk sambungan rel, lihat pula Gambar 4.10 (e). Gambar 4.10 (d) menunjukkan penambat (*clip*) untuk penggunaan biasa (bukan untuk sambungan rel); sedangkan Gambar 4.10 (e) ialah konstruksi Tipe F untuk sambungan rel. Gambar *base plate* untuk penambat rel Tipe F pada sambungan rel disajikan pada Gambar 4.10 (f).

Penambat rel tipe F mempunyai karakteristik sebagai berikut:

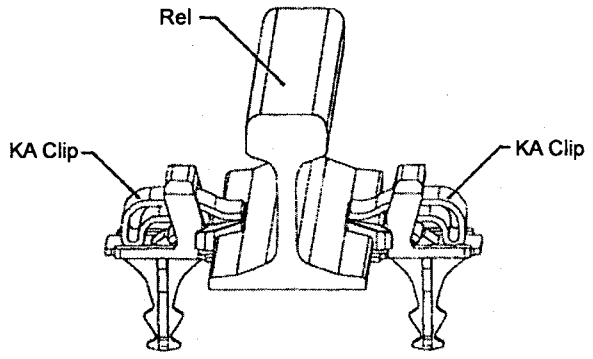
a) kuat jepit terhadap rel dapat mencapai 500 kgf,
b) bila digunakan alas karet (*rubber pad*) di bawah kaki rel, menjadi penambat elastis ganda,
c) alat penambat tidak cepat longgar karena komponennya mempunyai kemampuan meredam getaran, dan
d) komponen penambat rel relatif banyak, sehingga memerlukan ketelitian dalam pemasangan dan pemeliharaan.

Penambat Rel Tipe KA-Clip

Merupakan Penambat Rel Elastis hasil penelitian dan pengembangan bersama antara PT. PINDAD (persero) dengan PT. Kereta Api (persero). Hasil penelitian dan pengembangan dimaksud ialah seperti yang dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Penambat rel Tipe F



Gambar 4.11 Gambar KA-Clip

Karakteristik utama KA-Clip ialah sebagai berikut:

a) sederhana,
b) mudah dalam pemasangan,
c) bila *track* mengalami pergantian rel, masih dapat digunakan kembali dengan efektif,
d) kuat jepit terhadap rel 800 – 1200 kgf,
e) anti *Vandalism* (karena memasang dan membukanya perlu alat khusus), dan
f) bila digunakan alas karet (*rubber pad*) di bawah kaki rel, menjadi penambat elastis ganda.

Dari uraian tentang tipe penambat rel di atas terlihat bahwa penambat elastis dilihat dari kuat jepit yang dihasilkan dapat dikelompokkan dalam dua kelompok, yaitu:

a) penambat rel yang kekuatan jepitnya dihasilkan sendiri (langsung), misalnya: penambat rel Doorken, D.E.Spring Clip dan Pandrol,
b) penambat rel yang kekuatan jepitnya dihasilkan oleh hubungan antara bantalan dengan mur-baut atau bantalan dengan tirpon, misalnya penambat rel tipe Nabla, tipe F dan KA-Clip.

Selain hal tersebut, dari uraian di atas dapat dimengerti bahwa pada penambat elastis ganda, selain penjepitnya sendiri yang elastis, di bawah kaki rel dipasang alas karet (*rubber pad*) yang akan memberikan elastisitas tambahan. Selain memberikan elastisitas tambahan, alas karet mampu mencegah merangkaknya rel, dan melindungi permukaan bantalan.

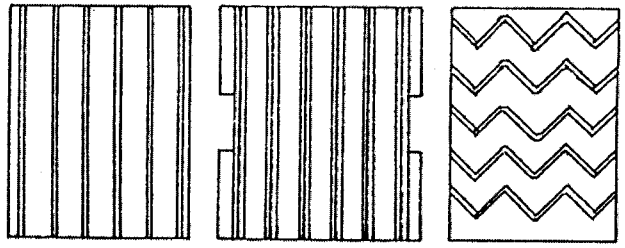
4.2.5 Persyaratan Bahan

Mengingat fungsi penambat rel yang sedemikian, maka bahan yang digunakan harus berkualitas baik sehingga:

a) kuat jepit penambat rel akan tetap mencukupi untuk jangka panjang,
b) dapat mempertahankan elastisitas penambat rel dalam jangka panjang,
c) harus mampu mempertahankan lebar sepur, dan

d) alas karet harus mampu mencegah merangkaknya rel, meredam getaran, melindungi permukaan bantalan dan mampu menahan beban yang bekerja padanya.

Alas karet yang digunakan dapat terbuat dari karet alam, karet sintetis, Ethyl Vinyl Acetat (EVA) Polyethylene Berkepadatan Tinggi (*High Density Polyethylene*) dan Polyurethane. Agar tidak terjadi pergeseran kedudukan alas karet terhadap rel dan untuk memberikan perlawanan terhadap gerakan rangkak, maka alas karet dibuat beralur. Mengenai pola alur, ada yang berpola alur lurus, dan yang berpola alur gelombang (lihat Gambar 4.12). Agar dapat memberikan elastisitas yang baik, maka disyaratkan besarnya modulus elastisitas alas karet ialah antara 110 – 140 kg/cm^2.

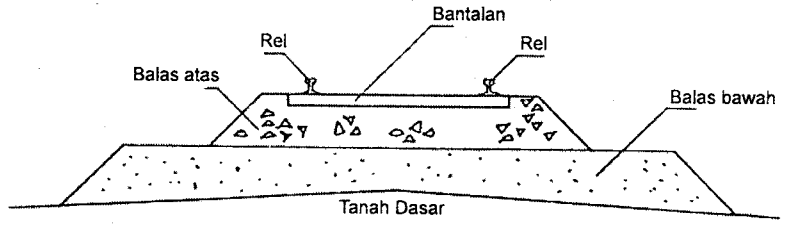


Gambar 4.12 Alas karet (*rubber pad*)

4.3 BALAS

4.3.1 Letak dan Fungsi Balas

Lapisan balas terletak di atas lapisan tanah dasar (lihat Gambar 4.12). Lapisan balas mengalami tegangan yang besar akibat lalu lintas kereta api, sehingga bahan pembentuknya harus baik dan pilihan.

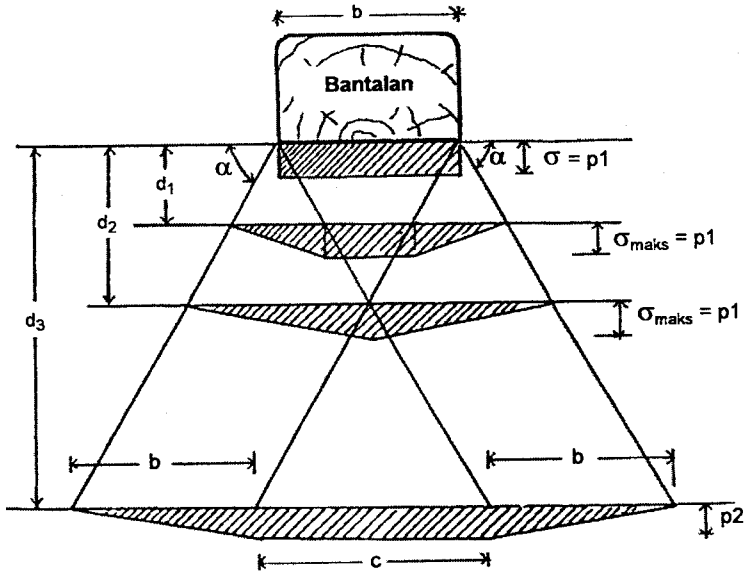


Gambar 4.12 Letak balas

Balas mempunyai fungsi sebagai berikut:

a) meneruskan dan menyebarkan beban yang diterima bantalan ke tanah dasar,
b) mencegah/menahan bergesernya bantalan (dan rel) baik arah membujur (akibat gaya rem, jejakan roda pada rel, kembang-susut rel karena perubahan suhu udara), maupun arah melintang akibat gaya-gaya leteral,
c) meluluskan air sehingga tidak terjadi genangan air di sekitar bantalan dan rel, dan
d) mendukung bantalan dengan dukungan yang kenyal.

Distribusi beban yang terjadi pada balas dapat dijelaskan seperti berikut.



Gambar 4.13 Distribusi beban pada balas

Gaya dinamis dari roda kereta api pada rel diteruskan kepada bantalan, kemudian oleh bantalan akan didistribusikan kepada balas dengan bidang distribusi seperti pada Gambar 4.13. Tepat di bawah bantalan gaya didistribusikan secara merata dengan menghasilkan tegangan σ sebesar P1 kg/cm2. Pada kedalaman d_1 diagram tegangan

yang terjadi menghasilkan σ_{maks} = P1. Besarnya σ_{maks} tetap sebesar P1 hingga kedalaman tertentu, yaitu d_2. Pada kedalaman yang lebih dalam lagi, tegangan maksimum akan berkurang yang besarnya < P1 (dalam Gambar 4.13 diperlihatkan dengan P2 yang besarnya < P1). Tanah dasar harus mampu menopang tegangan maksimum yang terjadi tersebut.

Pada tanah dasar yang mempunyai kuat dukung yang tinggi, tidak diperlukan ketebalan balas setebal balas di atas tanah lunak. Pada balas yang menerima beban ringan cukup menggunakan balas yang relatif tipis dibandingkan dengan balas yang harus menerima beban yang besar. Beban dinamis yang ditimbulkan oleh kereta api lebih besar dibandingkan dengan beban statisnya; dan besarnya beban dinamis dipengaruhi oleh besarnya kecepatan kereta (lihat persamaan Talbot 3.10 pada Bab.III). Selain hal tersebut, kemampuan balas mendistribusikan beban ditentukan oleh kwalitas bahan balas itu sendiri. Dengan penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa ketebalan lapisan balas yang diperlukan tergantung pada:

a) kuat dukung tanah dasar badan jalan rel,
b) beban roda kereta api,
c) kecepatan kereta api, dan
d) bahan balas.

4.3.2 Ketebalan Lapisan Balas

Pada lapisan balas yang terbuat dari bahan granuler, AREA (1997) menyederhanakan masalah dengan pendekatan bahwa distribusi beban kepada suatu kedalaman adalah kira-kira sama tanpa memperhatikan bahan granulernya. Berdasarkan pendekatan tersebut, ketebalan balas dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$h = (16{,}8\ pa/pc)^{4/5} \qquad (4.1)$$

dengan:

h : ketebalan balas (inches),
pa : tekanan rerata yang didistribusikan oleh bantalan kepada balas (psi), dan

pc : tekanan yang diberikan kepada tanah dasar, termasuk faktor keamanan (psi).

Tebal minimum balas yang diperlukan, menurut Schramm (1961) tergantung pada jarak bantalan, lebar bantalan dan sudut gesek internal bahan balas, seperti yang ditunjukkan dengan formula berikut:

$$Z_{min} = \frac{S - B}{2\,tg\theta} \qquad (4.2)$$

dengan :

Z_{min} : tebal minimum balas (m),
S : jarak bantalan (m),
B : lebar bantalan (m), dan
θ : sudut gesek internal bahan balas (^{o}).

Meskipun secara struktur, pada tanah dasar badan jalan rel yang mempunyai kuat dukung yang sangat tinggi tidak diperlukan balas yang tebal, lapisan balas tetap diperlukan untuk memberikan kekenyalan jalan rel. Jika bantalan diletakkan langsung di atas tanah dasar tanpa balas, tanah di bawah bantalan dan juga bantalannya akan cepat rusak akibat sentakan-sentakan oleh beban dinamis yang berasal dari kereta api yang berjalan di atasnya. Rusaknya tanah dasar dan bantalan akan menyebabkan kedudukan sepur tidak stabil. Kerusakan yang terjadi akan semakin cepat dan besar sewaktu turun hujan yang dapat mengakibatkan lunaknya tanah dasar badan jalan rel. Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa lapisan balas tetap diperlukan untuk segala jenis tanah dasar badan jalan rel.

Dengan pertimbangan penghematan biaya tetapi tetap berpegang pada fungsi balas, pembuatan lapisan balas dapat dibagi dua, yaitu:

a) lapisan balas atas, dengan bahan pembentuk yang sangat baik,
b) lapisan balas bawah, dengan bahan pembentuk yang tidak sebaik bahan pembentuk lapisan balas atas.

4.3.3 Balas Atas

Akibat beban dinamis yang berat yang berasal dari kereta api yang berjalan di atasnya, lapisan balas atas akan mengalami tegangan yang sangat besar, oleh karena itu maka bahan pembentuknya harus baik. Persyaratan bahan lapisan balas atas ialah seperti berikut:

a) batu pecah yang keras, tidak mudah pecah oleh pembebanan,
b) tahan lama, tidak cepat aus oleh beban, dan tahan terhadap cuaca,
c) bersudut (*angular*),
d) mempunyai gradasi tertentu (lihat Tabel 4.1) sehingga mempunyai sifat saling kunci dan saling gesek yang baik, dan mempunyai koefisien permeabilitas yang tinggi, dan
e) substansi yang merugikan tidak boleh terdapat dalam bahan balas melebihi prosentase tertentu, yaitu:

Bahan yang lunak dan mudah pecah	< 3 %,
Bahan yang lolos saringan no.200	< 1 %,
Gumpalan lempung	< 0,5 %,
Keausan pada uji Los Angeles	< 40 %,
Partikel tipis/panjang	< 5 %.

Gradasi bahan yang diijinkan untuk digunakan sebagai bahan lapisan balas atas ialah seperti yang dicantumkan pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Gradasi Lapisan Balas Atas.

Ukuran nominal (inch)	Persen lolos saringan							
	Ukuran saringan (inch)							
	3	2,5	2	1,5	1	0,75	0,5	3/8
2,5–0,75	100	90–100	25–60	25–60		0–10	0–5	
2–1		100	95–100	35–70	0–15		0–5	
1,5–0,75			100	90–100	20–15	0–15		0–5

Catatan :

a) Untuk jalan rel kelas I dan II digunakan ukuran minimal 2,5"–0,75".
b) Untuk jalan rel kelas III digunakan ukuran minimal 2"– 1".

Dengan persyaratan bahan balas seperti tersebut di atas, akan diperoleh kinerja balas sesuai fungsinya termasuk memberikan kekenyalan. Berkaitan dengan kekenyalan, penggunaan batu pecah seperti yang disyaratkan akan memberikan kekenyalan yang lebih alami, sehingga akan didapat kenyamanan perjalanan yang lebih baik.

4.3.4 Balas Bawah

Persyaratan Bahan

Pada umumnya bahan balas bawah tidak memerlukan kualitas yang sangat baik seperti yang disyaratkan untuk bahan balas atas. Lapisan balas bawah terdiri atas kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar. Lapisan balas bawah ini berfungsi juga sebagai lapisan filter antara tanah dasar dan lapisan balas atas, dan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Persyaratan gradasi bahan balas bawah yang digunakan ialah seperti yang tercantum pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Gradasi lapisan Balas Bawah

Ukuran Saringan	2"	1"	3/8"	No.10	No.40	No.200
% Lolos (optimum)	100	95	67	38	21	7
Daerah yang Diperbolehkan (% lolos)	100	90-100	50-84	26-50	12-30	0-10

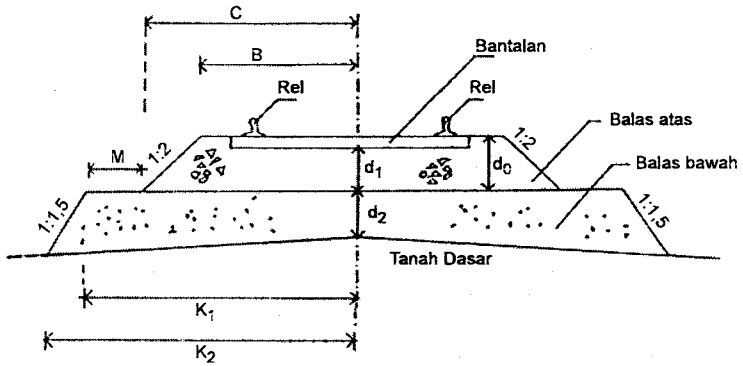
Bentuk dan Dimensi Lapisan Balas

Terdapat dua bentuk dan dimensi potongan melintang lapisan balas (balas atas dan balas bawah), yaitu:

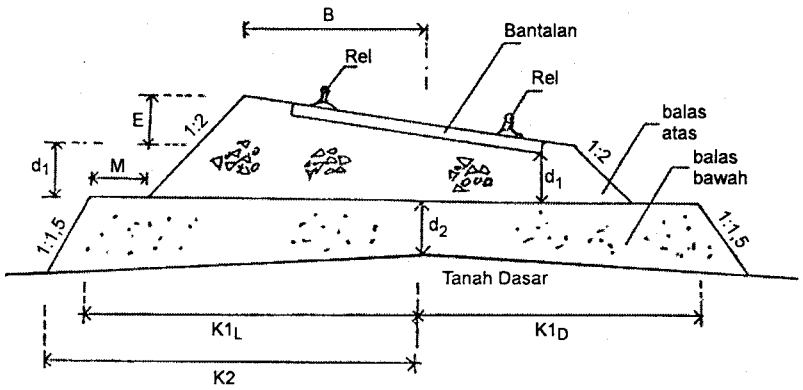
a) potongan melintang pada pada jalan lurus,

b) potongan melintang pada lengkung/tikungan.

Kedua bentuk dan dimensi dimaksud dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Potongan melintang pada jalan lurus



Gambar 4.15 Potongan melintang pada lengkung/tikungan

Dengan menggunakan persyaratan bahan balas seperti diuraikan di atas, ketebalan lapisan balas yang diperlukan ialah sesuai dengan kelas jalan rel seperti yang tercantum pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Ukuran-ukuran pada lapisan balas

	Kelas Jalan Rel				
	I	II	III	IV	V
d_1 (cm)	30	30	30	25	25
B (cm)	150	150	140	140	135
C (cm)	235	235	225	215	210
K_1 (cm)	265 - 315	265 - 315	240 -270	240 - 250	240 – 250
d_2 (cm)	15 – 50	15 - 50	15 - 50	15 -35	15 – 35
E (cm)	25	25	22	20	20
K_2 (cm)	375	375	325	300	300

Tebal lapisan balas atas dengan notasi d_1, dan tebal lapisan balas bawah dengan notasi d_2. Tebal minimum lapisan balas atas ialah 25 cm, dan tebal minimum lapisan balas bawah ialah 15 mm. Sedangkan ukuran/dimensi yang digunakan, baik pada jalan lurus maupun pada lengkung ialah seperti uraian berikut.

Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas (B) atas ialah:

$$B > 0{,}5\ L + X \qquad (4.3)$$

dengan:

L : panjang bantalan (cm),

X : lebar bahu, untuk Indonesia:

Jalan rel kelas I dan II sebesar 50 cm,

Jalan rel kelas III dan IV sebesar 40 cm,

Jalan rel kelas V sebesar 35 cm.

Bahu pada balas atas adalah berfungsi agar bantalan tidak mudah tergeser dari tempatnya dan agar tahanan bahan balas ke arah melintang cukup kuat. Mengenai lebar bahu yang digunakan, dari beberapa referensi didapat ukuran sebagai berikut:

a) menurut Hay (1982) : 20 – 30 cm untuk rel pendek, 45 cm untuk rel panjang,
b) di Jerman digunakan 45 cm untuk bahu yang sejajar bantalan, 35 cm untuk bahu yang dinaikkan,
c) di Rusia digunakan 35 – 45 cm (tergantung jenis rel yang digunakan),
d) di Inggris digunakan 1 feet; dan
e) India menggunakan 30 cm.

Kemiringan lereng lapisan balas atas dibuat tidak boleh lebih curam dari 1 : 2 (vertikal : horisontal), dengan catatan kemiringan tersebut adalah apabila bahan balas atas memenuhi ketentuan seperti yang diuraikan di depan (2.1). Bahan balas atas dihampar sedemikian sehingga mencapai elevasi yang sama dengan elevasi bantalan yang dengan demikian maka bantalan akan tertanam di dalam balas atas.

Ukuran selengkapnya yang digunakan ialah sebagai berikut (lihat Gambar 4.14 dan Gambar 4.15) :

Pada jalan lurus:

$$Kl > B + 2.d_1 + M + T \qquad (4.4)$$

dengan :

T : tebal bantalan (cm)

Pada tikungan/lengkung:

$$Kl_D = Kl \qquad (4.5)$$

$$Kl_L = B + 2.d_1 + 2.E + M \qquad (4.6)$$

$$E = (B + L/2)\, h/S + T \qquad (4.7)$$

dengan:

S : jarak antara kedua sumbu vertikal rel (cm),

h : peninggian rel (cm).

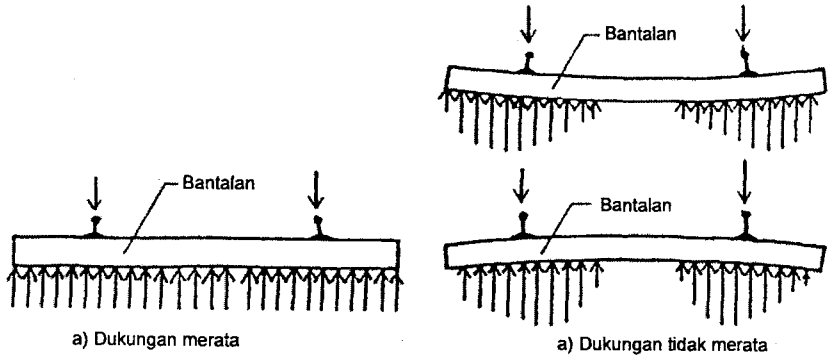
Lebar M yang digunakan ialah antara 40 cm sampai dengan 90 cm. Lebar M minimal sebesar 40 cm ialah dimaksudkan agar balas atas lebih terjamin kestabilannya, sedangkan bila disediakan juga untuk pejalan kaki maka lebar M sebaiknya dipilih sebesar 90 cm. Ukuran-ukuran selengkapnya yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero) dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Pada tebing lapisan balas bawah perlu dipasang konstruksi penahan yang dapat menjamin kemantapan lapisan tersebut. Konstruksi ini diperlukan karena lapisan balas bawah terbentuk dari bahan yang relatif mudah lepas (kurang saling kunci) sehingga mudah berpindah posisi akibat getaran di saat kereta api melewatinya dan akibat dari gerakan air (erosi). Konstruksi tersebut biasanya terbuat dari pasangan batu kosong, meskipun tidak menutup kemungkinan penggunaan cara lain, tetapi tetap harus dapat memberikan jaminan kekuatan yang diperlukan.

4.3.5 Pemadatan

Pemadatan harus dilakukan secara baik, benar, dan merata sehingga dapat diperoleh kepadatan lapangan yang disyaratkan yaitu 100% kepadatan kering maksimum menurut standar ASTM D 698. Untuk mencapai kepadatan lapangan yang homogen maka pemadatan agregat bahan balas harus dilakukan lapis demi lapis dan ketebalan tiap lapis setelah dipadatkan tidak boleh lebih dari 15 cm.

Apabila kepadatan lapisan balas tidak homogen maka penyebaran beban dan reaksi dukungan balas terhadap bantalan akan tidak merata. Tidak meratanya dukungan balas terhadap bantalan akan mengakibatkan momen pada bantalan, yang apabila momen yang terjadi tersebut melebihi kemampuan bantalan dalam menahan momen maka dapat mengakibatkan kerusakan pada bantalan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Dukungan balas terhadap bantalan

4.3.6 Beberapa Masalah Pada Balas dan Penanganannya

Beberapa masalah teknik yang sering ditemui pada lapisan balas ialah:

a) penurunan balas,

b) berkurangnya sifat kenyal dan permeabilitas lapisan balas, dan

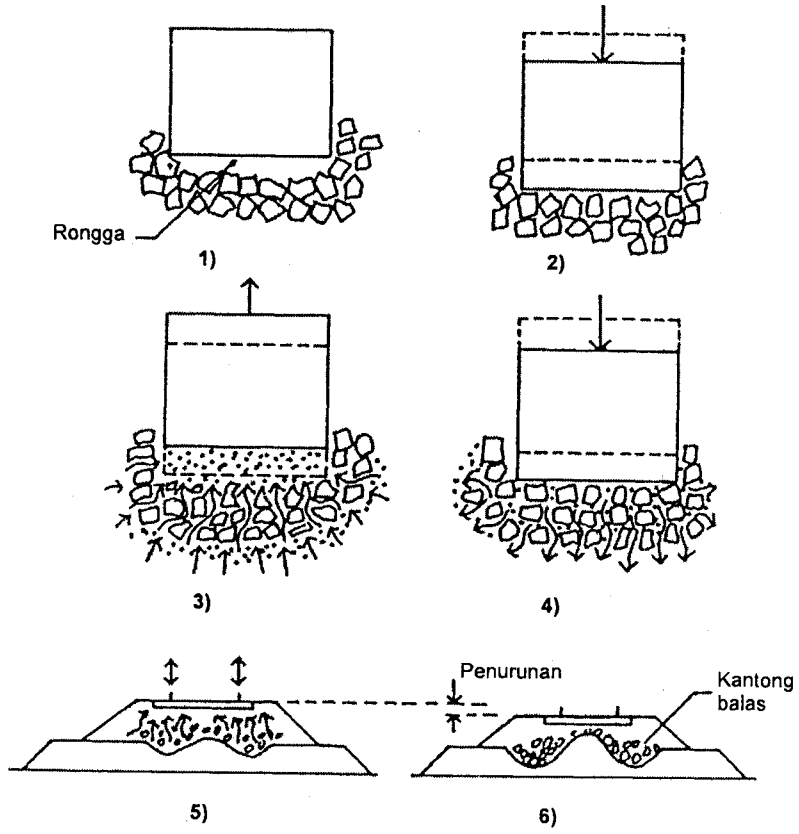
c) terjadinya Kantong Balas.

Pada saat rangkaian kereta api berjalan di atas rel, lapisan balas mendapatkan beban yang berupa tumbukan bantalan yang menghentak disertai dengan pembebanan yang silih berganti yang menyebabkan hal-hal berikut:

a) bahan balas saling gesek, lambat laun akan aus/hancur sehingga volume balas akan berkurang dan mengakibatkan pengurangan tebal balas, sehingga terjadi penurunan balas,

b) rongga-rongga antar partikel akan bertambah sempit, baik itu oleh karena berkurangnya volume balas maupun oleh karena pecahan/ serbuk/serpihan bahan balas yang menutupi rongga-rongga antar partikel balas. Berkurangnya rongga-rongga antar partikel ini dapat menyebabkan berkurangnya permeabilitas lapisan balas sehingga air tidak mudah mengalir, dan balas menjadi tidak kenyal (sering disebut dengan "Balas Mati"). Penyebab lain tertutupnya rongga-rongga ialah akibat dari buangan sampah, debu, partikel hasil pengereman, gesekan roda dengan kepala rel, dan sebagainya.

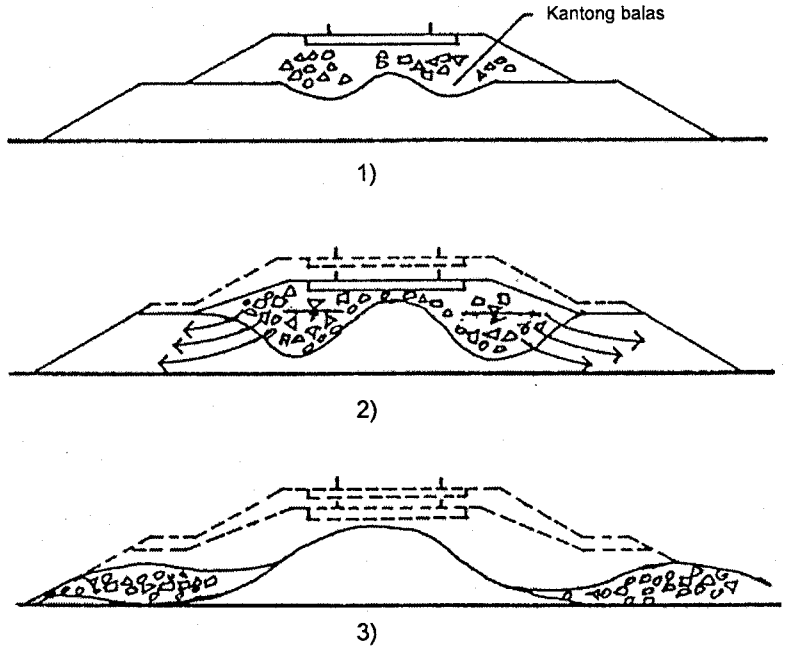
Akibat dari berkurangannya ketebalan lapisan balas menyebabkan tanah dasar menerima tekanan akibat beban dari atas lebih besar dibandingkan dengan keadaan semula. Akibat dari hal tersebut, tanah dasar dapat merosot turun, dan bahan balas terdesak masuk ke tanah dasar membuat cekungan (kantong balas). Selain akibat berkurangnya ketebalan lapisan balas, kantong balas juga dapat terjadi akibat dari terjadinya proses *Mud Pumping* (pemompaan lumpur/partikel halus). Proses terjadinya kantong balas akibat *Mud Pumping* dapat dipahami melalui Gambar.4.17. Terbentuknya kantong balas akan dipercepat pada musim hujan, sebab keberadaan air selain mengurangi kuat dukung tanah dasar juga akan merupakan pembawa lumpur pada proses pemompaan lumpur (lihat Gambar 4.17).



Gambar 4.17 Proses pemompaan lumpur/partikel-pertikel halus dan terjadinya kantong balas

Gambar 4.17 (1) menunjukkan kedudukan bantalan yang mengambang sehingga terbentuk rongga, yang pada saat dibebani (dilewati kereta api) tekanan pori akan naik, lihat Gambar 4.17 (2). Selanjutnya pada saat bebannya lepas partikel-partikel halus dari tanah dasar tersedot masuk ke rongga (Gambar 4.17 (3)). Pada saat terbebani kembali partikel-partikel halus yang ada dalam rongga tersebut akan didesak masuk ke sela-sela bahan balas, lihat Gambar 4.17 (4). Peristiwa tersedotnya partikel-partikel tanah dasar tersebut akan mengakibatkan balas turun menerobos tanah dasar, lihat Gambar 4.17 (5), yang kemudian dapat mengakibatkan terbentuknya kantong balas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 (6).

Apabila proses terbentuknya kantong balas tersebut berlangsung lebih lanjut, semakin lama kantong balas akan semakin dalam dan lebar, lihat Gambar 4.18 (1). Air yang ada di dalam kantong balas tersebut akan menekan tanah di sekelilingnya, lihat Gambar 4.18 (2). Demikian seterusnya dan sewaktu tahanan geser tanah maksimum sudah terlampaui akan terjadilah runtuhan badan jalan rel, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.18 (3).



Gambar 4.18 Proses keruntuhan jalan rel akibat kantong balas

Masalah-masalah di atas dapat ditangani dengan beberapa alternatif (tergantung dari penyebabnya), yang dapat dikelompokkan pada dua hal, yaitu:

a) penanganan pada perancangan,
b) penanganan pada tahap pemeliharaan jalan rel.

Untuk mengatasi masalah-masalah pada balas seperti tersebut di atas, pada perancangan balas jalan rel dapat diambil langkah sebagai berikut:

a) tanah dasar harus benar-benar memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar (lihat Tanah Dasar pada Bab V),
b) pembuatan fasilitas drainasi melintang pada tempat-tempat yang memerlukan (lihat Bab VII),
c) penggunaan geosintetik, dan
d) penggunaan cara "*Eastern Region*".

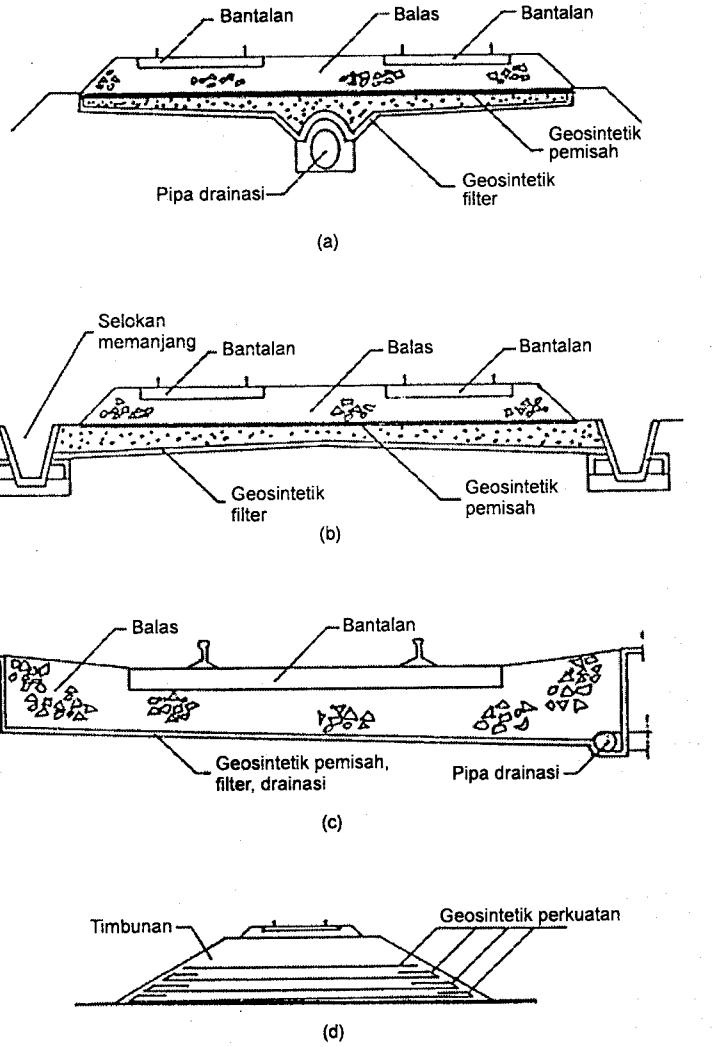
Penggunaan Geosintetik

Secara umum terdapat empat fungsi utama geosintetik, yaitu:

a) Fungsi sebagai fasilitas drainasi (*drainage*),
b) Fungsi sebagai pemisah (*separator*),
c) Fungsi sebagai saringan (*filter*), dan
d) Fungsi sebagai perkuatan (*reinforcement*).

Penggunaan geosintetik pada lapisan balas untuk mengatasi masalah teknik yang sering ditemui seperti yang dijelaskan di atas ialah dengan memasang geosintetik di antara lapisan balas dan permukaan atas tanah dasar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19. Dengan pemasangan seperti pada Gambar 4.19 tersebut, geosintetik dapat berfungsi seperti uraian berikut.

Geosintetik yang dipasang di antara lapisan balas dan permukaan atas tanah dasar akan dapat mengalirkan air, baik yang berasal dari atas (dari lapisan balas) maupun yang berasal dari tanah dasar yang naik ke atas. Oleh karena permukaan atas lapisan tanah dasar mempunyai kemiringan ke arah luar (lihat uraian tentang tanah dasar) dan geosintetiknya mengikuti kemiringan permukaan atas tanah dasar, maka air tersebut akan di alirkan ke luar dari lapisan balas.



Gambar 4.19 Penggunaan geosintetik pada jalan rel

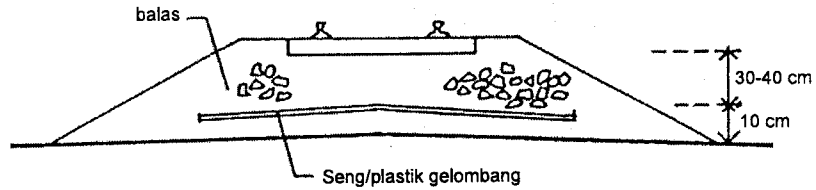
Apabila ternyata air yang berasal dari bawah yaitu dari tanah dasar bertekanan dan membawa partikel-partikel halus (proses *mud pumping*), lapisan geosintetik yang dipasang dapat menjadi filter yang akan menyaring partikel-partikel halus yang terbawa oleh air sehingga tidak masuk ke dalam lapisan balas.

Geosintetik yang dipasang di antara lapisan tanah dasar dan lapisan balas akan menjadi pemisah antara kedua bahan lapisan tersebut, sehingga kedua bahan tidak menjadi tercampur. Dengan tidak tercampurnya kedua bahan tersebut maka sifat dan karateristik teknis keduanya akan dapat dipertahankan. Geosintetik juga akan menjadi komponen perkuatan baik pada balas maupun pada tanah dasarnya.

Untuk lebih jelasnya dipersilakan membaca buku yang membahas tentang geosintetik.

Penggunaan Cara "*Eastern Region*"

Cara ini dikembangkan berdasarkan penelitian dan pengujian yang dilakukan oleh yang waktu itu disebut sebagai Perusahaan Jawatan Kereta Api (PJKA) Eksplotasi Timur, sekitar tahun 1980. Pada cara *Eastern Region* (dikenal sebagai cara ER) ini di antara lapisan balas dan tanah dasar dipasang bahan pelapis berupa seng gelombang atau plastik gelombang yang di atas dan di bawahnya dilindungi oleh pasir (lihat Gambar 4.20).

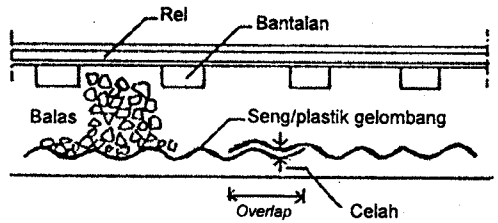


Gambar 4.20 Cara *Eastern Region*

Pemilihan bahan berupa seng/plastik gelombang, pemasangan, dan penggunaan lapisan pasir di atas dan di bawah seng/plastik gelombang ialah berdasar pada hal-hal yang diuraikan berikut.

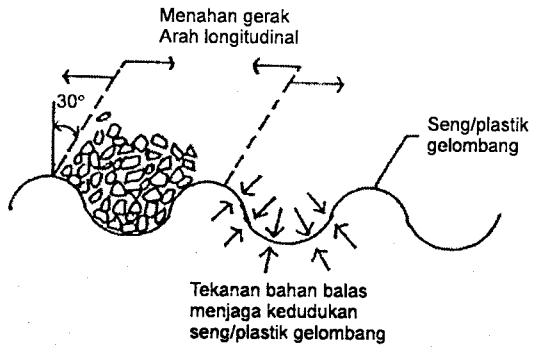
Seng/plastik gelombang yang digunakan merupakan pelindung sesuatu yang berada di bawahnya. Sambungan antara dua buah seng/plastik gelombang berupa suatu *overlap* yang lepas (hanya ditumpangkan saja), sehingga air yang datang dari bawah dapat mengalir melalui sambungan-sambungan tersebut. Oleh karena terdapat lapisan pasir yang melindunginya yang berfungsi juga sebagai filter, maka air yang masuk ke dalam sambungan sudah bersih dari partikel-partikel halus. Dengan sambungan yang merupakan *overlap* lepas tekanan ke atas yang ditimbulkan oleh naiknya permukaan air tanah hanya

mampu untuk membesarkan celah *overlap* dan tidak mengangkat seng/plastik gelombangnya (lihat Gambar 4.21). Pemasangan seng/plastik gelombang yang mempunyai kemiringan ke arah luar akan mengalirkan air ke luar.



Gambar 4.21 Pemasangan seng/plastik gelombang pada cara ER

Seng/plastik gelombang akan mendapat tekanan oleh berat balas dan struktur jalan rel di atasnya, sehingga seolah-olah bahan pelapis ini melekat pada pasir yang berada di bawahnya. Bentuk gelombang akan mencegah gerak longitudinal seng/plastik gelombang, sehingga akan tetap berada pada kedudukannya (lihat Gambar 4.22). Kekuatan seng/plastik gelombang akan memberikan fungsi perkuatan (*reinforcement*) pada balas/tanah dasarnya.



Gambar 4.22 Pencegahan gerak longitudinal seng/plastik gelombang

Bab V

TANAH DASAR DAN BADAN JALAN REL

5.1 PENGANTAR

Pada Bab III dan Bab IV telah diuraikan komponen jalan yang berupa rel, bantalan, penambat rel dan balas, sedangkan tanah dasar dan badan jalan rel akan diuraikan pada bab ini. Dengan susunan struktur jalan rel seperti yang digambarkan dengan Gambar 2.2 pada Bab II, seberapapun besarnya beban gandar kereta api, dan seperti apapun penyebaran dan penerusan bebannya, beban dimaksud akan didukung oleh bagian paling bawah struktur jalan rel yaitu, tanah dasar (*subgrade*) dan badan jalan rel. Sesuai dengan mekanisme penyebaran bebannya, semakin dalam/semakin ke bawah, tegangan yang diterima semakin kecil.

5.2 TANAH DASAR

5.2.1 Fungsi Tanah Dasar

Tanah dasar (*subgrade*) jalan rel mempunyai fungsi sebagai berikut:

a) mendukung beban yang diteruskan oleh balas kepada tanah dasar,
b) meneruskan beban ke lapisan di bawahnya, yaitu badan jalan rel, dan
c) memberikan landasan yang rata pada kedudukan/ketinggian/elevasi di tempat balas akan diletakkan.

Tanah dasar jalan rel merupakan lapisan yang terbuat dari bahan geoteknik, yang dapat merupakan:

a) keadaan asli,
b) bahan yang diperbaiki, dan
c) bahan buatan.

5.2.2 Persyaratan Bahan Tanah Dasar

Sesuai dengan fungsinya, dari sudut pandang teknik tanah dasar harus mampu menopang beban di atasnya dan kuat menahan tegangan yang terjadi padanya. Beban di atasnya yang harus ditopang oleh lapisan tanah dasar ialah berat lapisan balas, sedangkan tegangan yang terjadi padanya ialah tegangan yang terjadi akibat dari gaya yang diteruskan oleh bantalan kepada balas yang kemudian diteruskan dan didistribusikan oleh balas kepada lapisan tanah dasar. Menurut Clarke, 1957 (diambil dari Bureau of Transport Economics, 1980), dengan asumsi bahwa beban didistribusikan dengan kemiringan 1:1, tekanan vertikal pada tanah dasar dapat ditentukan dengan persamaan pendekatan sebagai berikut:

$$\sigma_z = 2 \times Pa \frac{B \times L}{(B + 2.z)(L + 2.z)} \qquad (5.1)$$

dengan:

σ_z : tekanan vertikal pada kedalaman z (kPa),
Pa : tekanan kontak rerata antara bantalan dengan balas (kPa),
z : kedalaman tanah dasar (dalam hal ini sama dengan tebal lapisan balas, diukur dari bidang kontak antara bantalan dan balas (m),
B : lebar bantalan (m),
L : panjang bantalan di bawah rel (m).

Tekanan vertikal pada permukaan atas tanah dasar dapat juga dihitung dengan cara yang disampaikan oleh Schramm (1961), yaitu bahwa tekanan vertikal yang terjadi ditentukan oleh tekanan rerata di bawah dudukan rel (*rail seat*), panjang bantalan, lebar rel, jarak antara bantalan, tebal lapisan balas, dan sudut gesek internal bahan balas, yang diwujudkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_z = \text{Pr} \frac{1{,}5(l - g)B}{\{3(l - g) + B\} z \text{tg} 0} \qquad (5.2)$$

dengan :

σ_z : tekanan vertikal pada kedalaman z (kPa),
Pr : tekanan rerata di bawah dudukan rel (*rail seat*) (kPa),
l : panjang bantalan (m),
g : jarak bantalan (m),
B : lebar bantalan (m),
z : tebal lapisan balas (m),
θ : sudut gesek internal bahan balas (°).

Menurut Schramm (1961) sudut gesek internal pada bahan balas berbutir kasar, berpermukaan kasar dan kering adalah sekitar 40°, dan bahan balas yang berbutir halus, berpermukaan halus dan basah adalah sekitar 30°.

Berdasarkan pendekatan yang digunakan oleh AREA (1997) seperti yang diuraikan pada Bab IV (4.3.2) dan ditunjukkan dengan persamaan 4.1, tekanan yang terjadi pada tanah dasar dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{pc} = 16{,}8 \text{ pa/h}^{1{,}25} \qquad (5.3)$$

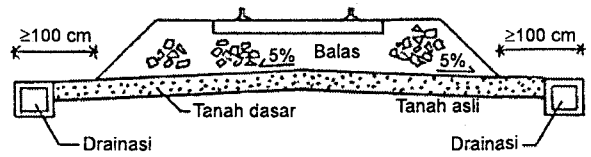
dengan :

pc : tekanan yang terjadi pada tanah dasar (psi),
pa : tekanan yang didistribusikan oleh bantalan kepada balas (psi),
h : tebal lapisan balas (inches).

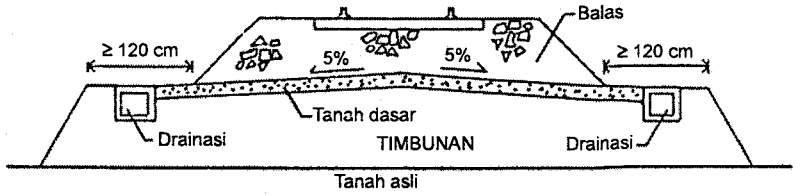
Dari tiga persamaan tersebut di atas (persamaan 5.1. hingga 5.3.) terlihat bahwa perancangan tanah dasar selalu harus dikaitkan dengan perancangan balas yang merupakan lapisan yang terletak di atasnya. Bahkan Salem dan Hay, 1966 (dalam Bureau of Transport Economics, 1980) menyatakan bahwa untuk mendapatkan distribusi tekanan yang lebih seragam pada tanah dasar yang tidak hanya antara bantalan tetapi juga sepanjang bantalan, dibutuhkan lapisan balas yang lebih tebal, sehingga mampu mencegah terjadinya penurunan diferensial (*differential settlement*) yang berlebih pada tanah dasarnya, dan akan mencegah pula terjadinya cekungan pada tanah dasar di bawah bantalan.

Sesuai dengan fungsi tanah dasar dan melihat letak/kedudukan serta distribusi beban oleh lapisan di atasnya (balas), maka tanah dasar harus mempunyai kuat dukung yang cukup. Menurut ketentuan yang digunakan oleh PT.Kereta Api (persero), kuat dukung tanah dasar (yang dalam hal ini ialah nilai CBR) minimum ialah sebesar 8%. Tanah dasar yang harus memenuhi syarat minimum CBR 8% tersebut ialah tanah dasar setebal minimum 30 cm.

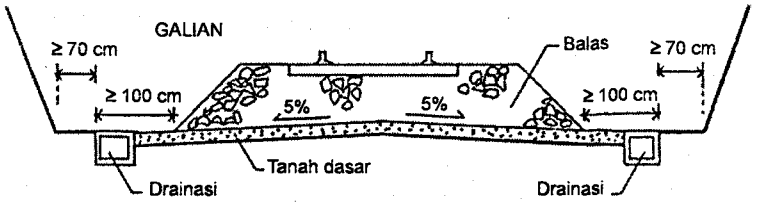
Letak tanah dasar dapat dilihat pada gambar yang menjelaskan pula tentang badan jalan, yaitu Gambar 5.1 hingga Gambar 5.3. Tanah dasar harus mempunyai kemiringan ke arah luar sebesar 5%, dan harus mencapai kepadatan 100% kepadatan kering maksimum.



Gambar 5.1 Badan jalan rel pada tanah asli



Gambar 5.2 Badan jalan rel pada timbunan



Gambar 5.3 Badan jalan rel pada galian

Pada bab terdahulu telah dijelaskan bahwa masalah *mud pumping* dapat mengakibatkan pengotoran balas. Untuk menghindari pengotoran balas akibat *mud pumping* dimaksud, tanah dasar harus memenuhi

persyaratan tertentu. Japan Railway Technical Service (----) memperlihatkan hubungan antara *mud pumping* dengan beberapa sifat-sifat teknik tanah dasar seperti yang disajikan pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.

5.3 BADAN JALAN

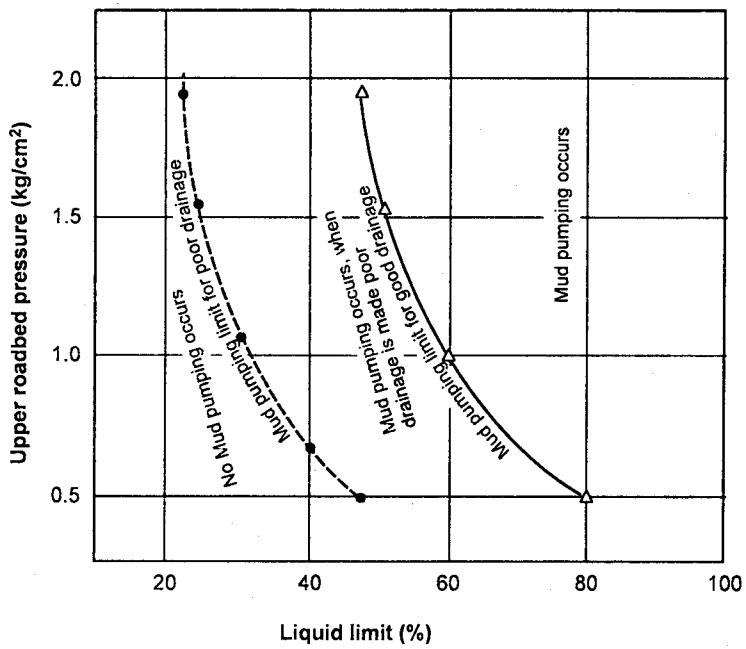
5.3.1 Umum

Badan jalan adalah merupakan konstruksi geoteknik yang memikul beban yang diberikan oleh tanah dasar kepadanya. Badan jalan rel dapat terbuat dari :

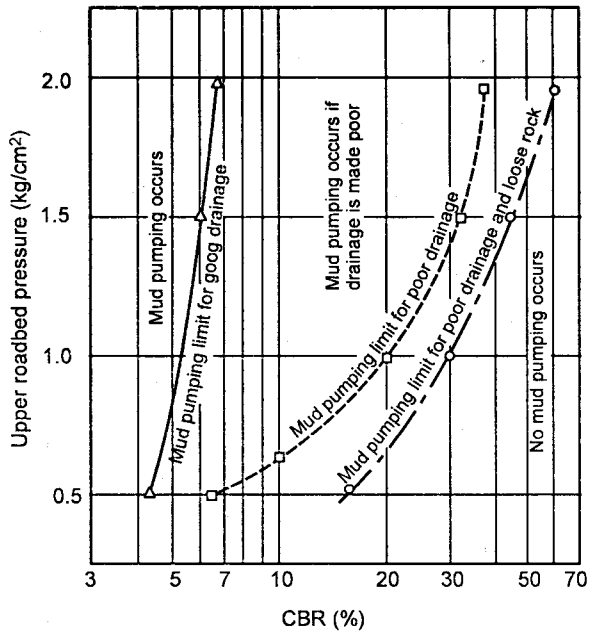
a) bahan dalam keadaan asli,

b) bahan yang diperbaiki,

c) bahan buatan.



Gambar 5.4 Hubungan antara tekanan pada tanah dasar dengan batas cair, dan *mud pumping*
(sumber: Japan Railway Technical Service)



Gambar 5.5 Hubungan antara tegangan pada tanah dasar dengan CBR tanah dasar dan mud pumping
(sumber: Japan Railway Technical Service)

Berdasarkan letaknya, badan jalan rel secara umum dapat berada di daerah dataran, perbukitan atau pegunungan. Untuk mendapatkan elevasi yang diperlukan, badan jalan rel dapat berupa timbunan, galian, atau kondisi asli.

5.3.2 Timbunan

Timbunan dibuat apabila diperlukan untuk menaikkan permukaan tanah sehingga mencapai ketinggian/elevasi yang sesuai untuk struktur jalan rel. Dengan dibuatnya timbunan maka permukaan tanah akan dapat lebih tinggi dari permukaan tanah aslinya atau lebih tinggi dari permukaan air yang diperkirakan. Badan jalan rel yang berupa timbunan terdiri atas dua bagian, yaitu:

a) timbunan,

b) fondasi timbunan.

Untuk jelasnya periksa Gambar 5.2.

Timbunan harus memenuhi persyaratan teknik di bawah ini:

a) mampu menopang beratnya sendiri dan beban di atasnya dengan aman,

b) penurunan yang terjadi masih dalam batas yang dapat diterima,

c) mampu mempertahankan bentuk timbunan, dan

d) mampu mempertahankan sifat-sifat tekniknya.

Oleh karena persyaratan timbunan tersebut di atas harus dapat dipenuhi, maka perlu diambil batasan sebagai berikut:

a) bagian atas timbunan minimum setebal 100 cm harus terbuat dari bahan timbunan yang lebih baik dibandingkan dengan bahan untuk bagian di bawahnya,

b) lebar permukaan atas dibuat sedemikian sehingga mempunyai *berm* minimum selebar 1,50 meter,

c) jika penurunan yang terjadi lebih dari 50 cm, maka perlu dilakukan perbaikan (*improvement*) pada bahan timbunannya,

d) angka keamanan (*factor of safety*) lereng terhadap longsor minimum 1,50,

e) kepadatan minimum timbunan adalah 95% kepadatan kering maksimum,

f) permukaan atas timbunan terletak minimum 75 cm di atas elevasi muka air tanah tertinggi,

g) apabila tinggi timbunan terpaksa lebih dari 6,00 meter, maka setiap ketinggian 6,00 meter harus dibuat *berm* selebar minimum 1,50 meter.

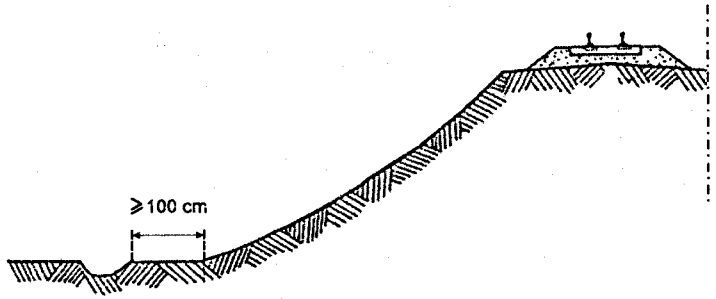
Menurut Subarkah (1981) apabila tinggi timbunan lebih dari 5,00 meter, lerengnya perlu dibuat terpatah, semakin ke bawah semakin landai (periksa Gambar 5.6). Adapun besarnya kemiringan (sudut) lereng timbunan tergantung pada jenis bahan timbunan yang digunakan.

Dalam perancangan badan jalan rel berupa timbunan, harus mengikutsertakan analisis pada tiga hal, yaitu:

a) kuat dukung fondasi timbunan,

b) stabilitas terhadap longsor,

c) penurunan.



Gambar 5.6 Timbunan lebih dari 5,00 meter

Kuat Dukung Fondasi Timbunan

Fondasi timbunan harus memenuhi persyaratan dasar untuk fondasi dangkal. Fondasi timbunan (yang biasanya merupakan lapisan tanah asli) harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk mendukung beban yang bekerja padanya, termasuk berat timbunan, dengan angka aman yang cukup. Selain itu, besarnya penurunan fondasi timbunan harus masih dalam batas yang dapat diterima. Apabila tidak dapat memenuhi persyaratan tersebut maka perlu adanya perbaikan bahan atau penggantian bahan fondasi timbunan.

Menurut standar perancangan yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero), tinggi timbunan yang dirancang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$ht \leq 1{,}67 \; qu/\gamma t \qquad (5.4)$$

dengan:

ht : tinggi timbunan,
qu : kuat tekan bebas (*unconfined*),
γt : berat unit bahan timbunan.

Secara spesifik kuat dukung *ultimate* fondasi timbunan yang berupa tanah kohesif, menurut AREA (1997) dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$\gamma.h = 5.c \qquad (5.5)$$

dengan:

γ : berat unit bahan timbunan
h : tinggi timbunan
c : kuat geser minimum fondasi timbunan

Stabilitas Terhadap Longsor

Analisis stabilitas lereng terhadap longsor dapat dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap pra-perancangan dan tahap analisis stabilitas.

a. Pra-perancangan

Stabilitas terhadap longsor dapat dihitung menggunakan metode Taylor. Pada timbunan yang terbentuk dari bahan yang homogen dan bentuk lerengnya sederhana, stabilitas terhadap longsor untuk tanah kohesif (*cohesive soil*) dapat dihitung menggunakan bantuan diagram pada Gambar 5.7, sedangkan untuk tanah berpasir (*sandy soil*) menggunakan diagram pada Gambar 5.8

1. Tanah kohesif

Diagram pada Gambar 5.7. digunakan untuk perhitungan stabilitas lereng tanah kohesif. Pada cara ini digunakan Faktor Kedalaman (n_d) yang diperoleh dari formula berikut:

$$n_d = \frac{H + D}{H} \qquad (5.6)$$

dengan:

n_d : faktor kedalaman,
H : ketinggian timbunan (m),
D : kedalaman lapisan fondasi (m).

Kohesi yang diperlukan untuk stabilitas lereng (C_d) diperoleh dari:

$$C_d = \frac{\gamma_b \times H}{N_s} \qquad (5.7)$$

dengan:

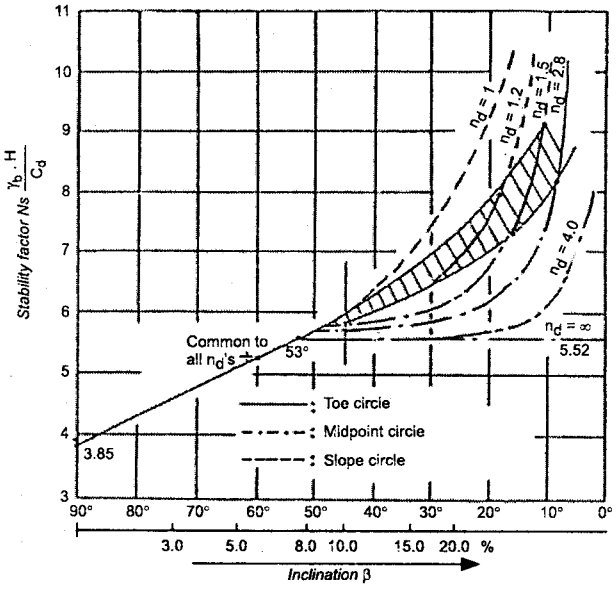
C_d : kohesi yang diperlukan untuk stabilitas timbunan (t/m^2),
γ_b : berat unit tanah (t/m^3),
N_s : faktor stabilitas (*stability factor*).

Diagram pada Gambar 5.7, memberikan hubungan antara ketinggian timbunan, kemiringan lereng (β), dan kohesi yang diperlukan untuk stabilitas lereng (C_d) pada faktor kedalaman (n_d) yang ada. Dengan demikian, pada pra-perancangan timbunan apabila tinggi timbunan (H), kedalaman fondasi (D), kemiringan lereng (β) baik dalam derajat (°) atau %, dapat diperoleh faktor stabilitasnya (N_S) pada faktor kedalaman yang relevan. Dengan diperolehnya faktor stabilitas (N_S), apabila berat unit tanah (γ_b) diketahui, maka kohesi yang diperlukan untuk stabilitas lereng timbunan (C_d) dapat dihitung. Selanjutnya, angka keamanan (*factor of safety*) timbunan dihitung menggunakan formula dan ketentuan sebagai berikut:

$$F_c = \frac{C}{C_d} \geq 1{,}3 \qquad (5.8)$$

dengan:

F_c : angka keamanan,
C : kohesi tanah (t/m^2),
C_d : kohesi yang diperlukan untuk stabilitas lereng (t/m^2).

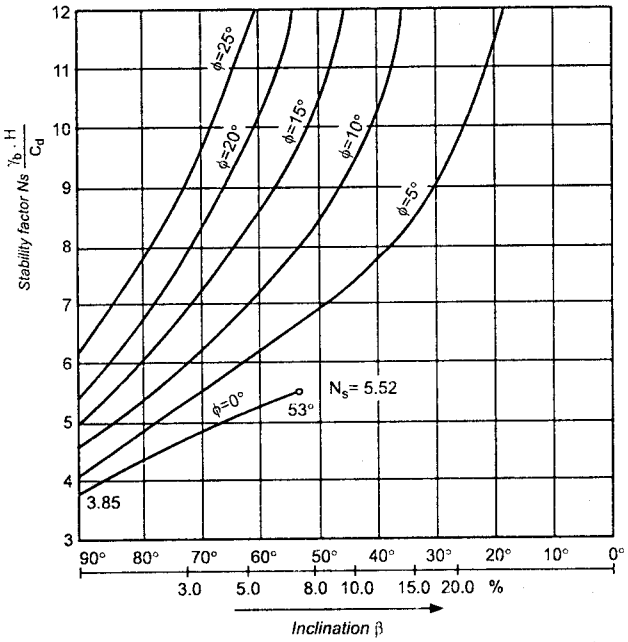


Gambar 5.7. Diagram stabilitas lereng tanah kohesif

2. Tanah Berpasir

Diagram pada Gambar 5.8. dapat digunakan untuk pra-perancangan stabilitas timbunan yang terbuat dari tanah berpasir (*sandy soil*). Diagram tersebut memberikan hubungan antara faktor stabilitas (N_s), kemiringan lereng (β) baik dalam satuan derajat (°) atau %, pada sudut gesek internal (ϕ) yang ada. Identik dengan pra-perancangan untuk tanah kohesif, apabila tinggi timbunan (H), kemiringan lereng (β) baik dalam satuan derajat (°) atau %, dapat diperoleh faktor stabilitasnya (N_s) pada sudut gesek internal yang relevan. Dengan diperolehnya faktor stabilitas (N_s), dan dengan diketahuinya berat unit tanah (γ_b), maka kohesi yang diperlukan untuk stabilitas lereng timbunan (C_d) dapat dihitung. Pada kasus tanah berpasir ini, angka keamanan (*factor of safety*) timbunan dapat pula dihitung menggunakan formula dan ketentuan seperti yang digunakan pada tanah kohesif yaitu sebagai berikut:

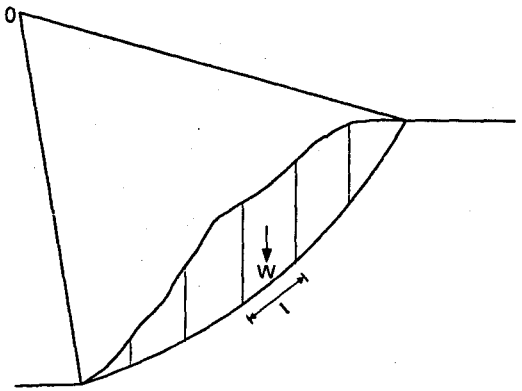
$$F_c = \frac{C}{C_d} \geq 1{,}3 \qquad (5.9)$$



Gambar 5.8 Diagram stabilitas lereng tanah berpasir

b) Analisis Stabilitas

Setelah tinggi timbunan yang akan digunakan ditetapkan pada tahap pra-perancangan, perlu dilakukan analisis terhadap stabilitas lerengnya. Untuk analisis stabilitas lereng dapat menggunakan Metode Irisan (*Method of slices*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Ilustrasi metode irisan

Pada analisis stabilitas lereng menggunakan metode irisan, digunakan asumsi bahwa permukaan longsoran berbentuk bagian dari lingkaran. Pada bagian lereng yang longsor diiris menjadi beberapa segmen, yang masing-masing mempunyai berat sendiri-sendiri. Formula yang digunakan untuk menghitung stabilitas lereng ialah sebagai berikut:

$$Fs = \frac{\sum S.l}{\sum W \sin\theta} = \frac{\sum \{C'l + (W\cos\theta - u.l)tg\theta'\}}{W\sin\theta}$$

dengan:

Fs : angka keamanan,
W : berat irisan tanah tiap satuan lebar,
l : panjang lengkung irisan longsoran,
θ : sudut yang dibentuk oleh irisan dan permukaan bidang longsor (^{o}),
u : tekanan air pori tanah,
S : tahanan geser tanah.

Penurunan

Pada badan jalan rel berupa timbunan terdapat dua penurunan, yaitu: penurunan pada timbunan, dan penurunan pada fondasi timbunan. Untuk kedua penurunan tersebut, masing-masing penurunan secara umum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{Cc.H}{1+eo}\log\left[\frac{po+\Delta p}{po}\right] \qquad (5.11)$$

dengan:

S : penurunan
Cc : indeks pemampatan (*compression index*)
H : panjang pengaliran;
H = D untuk pengaliran satu arah,
H = ½ D untuk pengaliran 2 arah,
D : tebal lapisan yang ditinjau,
eo : angka pori mula-mula
po : tekanan mula-mula akibat beban timbunan di atasnya (*overburden*),
Δp : pertambahan tekanan vertical.

Apabila bahan timbunan atau fondasi timbunannya merupakan bahan geoteknik yang berlapis maka penurunannya dihitung lapis demi lapis kemudian dijumlahkan, sehingga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$St = \sum \frac{Cc.H}{1+eo}\log\left[\frac{po+\Delta p}{po}\right] \qquad (5.12)$$

dengan:

St : penurunan total (penjumlahan dari penurunan masing-masing lapisan yang ditinjau)

Mengenai kuat dukung, stabilitas lereng dan penurunan, untuk lebih jelasnya pembaca disarankan untuk mendalaminya dengan membaca buku-buku tentang Geoteknik/Mekanika Tanah.

5.3.3 Galian dan Kondisi Asli

Pada badan jalan rel yang berupa galian atau kondisi asli, tidak terdapat timbunan, sehingga badan jalan relnya adalah fondasi yang mendukung tanah dasar (lihat Gambar 5.1 dan 5.3).

Fondasi pendukung tanah dasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a) mampu mendukung beban di atasnya,

b) penurunan yang terjadi masih dapat diterima,

c) mampu mempertahankan sifat-sifat tekniknya.

Beberapa ketentuan yang perlu digunakan pada perancangan badan jalan rel berupa galian atau kondisi asli ialah sebagai berikut:

a) permukaan atas tanah dasar miring ke arah luar dengan kemiringan sebesar 5%,

b) permukaan atas tanah dasar terletak minimum 75 cm di atas elevasi muka air tanah tertinggi,

c) apabila kedalaman galian lebih besar dari 10 meter, maka pada setiap kedalaman 7 meter dibuat berm selebar 1,5 meter,

d) geometri potongan melintang ialah seperti Gambar 5.1, dan Gambar 5.3.

5.4 PERBAIKAN TANAH

Apabila bahan geoteknik yang ada tidak cukup kuat, penurunan yang diperkirakan melebihi persyaratan atau lereng timbunan tidak stabil, maka dapat dipertimbangkan cara berupa perbaikan bahan geotekniknya (tanah). Perbaikan bahan geoteknik pada tanah dasar atau badan jalan rel sering digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat fisik dan geotekniknya dengan cara menambahkan bahan tambah (*additive*). Perbaikan sifat-sifat teknik tanah dasar atau badan jalan rel dapat dilakukan antara lain seperti yang disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Beberapa cara perbaikan tanah dasar dan badan jalan rel

Cara Perbaikan	Diskripsi	Kegunaan	Penggu-naan
Pencampuran dengan Semen	Semen dicampurkan pada tanah.	Untuk kegunaan umum. Banyak contoh penggu-naan yang berhasil. Cara yang *reliable*.	G, ER, T
Pencampuran dengan Kapur	Tanah dicampur dengan kapur tohor atau kapur padam. Perbaikan pada konsistensi dan pengu-rangan kadar air.	Untuk kegunaan umum. Banyak contoh penggunaa-an yang berhasil pada tanah dengan kadar air tinggi.	G, ER, T
Pencampuran dengan bahan bitumen	Adesi partikel pada ba-gian atas meningkat dan ketahanan terhadap air meningkat.	Kontrol kualitas sulit. Cara ini bisa digunakan pada tanah dengan kadar air rendah	G, ER, T
Pencampuran dengan bahan lain	Bahan yang baik ditam-bahkan pada tanah "je-lek", sehingga tanah terse-but menjadi dapat digu-nakan.		G, ER, T
Sandwich	Lapisan dari bahan baik dan dari yang tidak baik diletakkan secara bergan-tian untuk menaikkan stabilitas dan kekuatan.	Pelaksanaannya sulit dan perlu kontrol yang baik.	T
Pencampuran tanah – abu	Tanah kering dicampur dengan campuran tanah-abu vulkanik untuk me-ningkatkan konsistensi-nya..	Perlu peralatan yang rela-tif kompleks.	G, ER, T

Keterangan: G : Galian; ER : Embankment rendah; T : Timbunan

Bab VI

DRAINASI JALAN REL

6.1 PENGANTAR

Drainasi jalan rel secara umum didefinisikan sebagai sistem pengaliran/pembuangan air di suatu daerah jalan rel, baik secara gravitasi maupun dengan menggunakan pompa, agar tidak sampai terjadi genangan air. Pada bab ini akan diuraikan mengenai garis besar dan pokok-pokok drainasi secara gravitasi saja. Apabila pembaca berkeinginan untuk mempelajari drainasi secara lebih lengkap dan rinci, dipersilakan mendapatkannya pada buku/bahan yang membahas lebih rinci dan mendalam tentang drainasi.

6.2 KEGUNAAN DAN JENIS DRAINASI

Drainasi pada jalan rel dibuat dengan maksud sebagai berikut:

a) tidak terjadi genangan air pada jalan rel, sehingga tidak terjadi pengembangan tanah dan menghindari terjadinya pemompaan butir-butir halus (*pumping effect*),

b) mencegah atau mengurangi pengaruh air terhadap konsistensi tanah, sehingga badan jalan rel tetap kokoh, dan

c) lalulintas kereta api tidak terganggu.

Secara umum dapat dikatakan terdapat 3 (tiga) jenis drainasi jalan rel, yaitu:

a) drainasi permukaan (*surface drainage*),

b) drainasi bawah permukaan (*sub-surface drainage*),

c) drainasi lereng (*slope drainage*).

Beberapa hal yang berkaitan dengan jenis drainasi tersebut di atas akan diuraikan pada uraian berikut.

6.3 DRAINASI PERMUKAAN

6.3.1 Maksud dan Tujuan

Drainasi permukaan dibuat dengan maksud untuk mengalirkan/ membuang air yang ada dipermukaan tanah daerah jalan rel. Meskipun demikian, pembuangan akhir air dari sistem drainasi permukaan ini tidak boleh mengganggu pihak lain. Sesuai dengan maksud dan tujuan dibuatnya drainasi permukaan, perencanaan dan perancangan drainasi permukaan dipengaruhi oleh keadaan topografi.

6.3.2 Jenis Drainasi Permukaan

Penentuan jenis drainasi permukaan ini berdasarkan pada letak drainasi terhadap jalur jalan rel. Terdapat 2 (dua) jenis drainasi permukaan, yaitu:

a) drainasi memanjang (*side-ditch*), yaitu drainasi permukaan yang letaknya di samping dan memanjang arah jalur jalan rel,
b) drainasi melintang (*cross-drainage*), yaitu drainasi permukaan yang letak dan arahnya melintang arah jalur jalan rel.

6.3.3 Data yang Diperlukan untuk Perencanaan dan Perancangan

Untuk membuat perencanaan sistem dan perancangan drainasi permukaan yang efektif dan efisien diperlukan data sebagai berikut:

a) curah hujan,
b) topografi,
c) tata guna lahan setempat, dan
d) sifat/karakteristik tanah setempat.

6.3.4 Bentuk

Drainasi memanjang, dapat berupa saluran terbuka atau saluran tertutup. Adapun bentuk potongan melintangnya dapat berbentuk sebagai berikut:

a) trapesium,

b) kotak atau persegi,
c) segitiga,
d) busur lingkaran.

Drainasi melintang (dapat dalam jumlah tunggal atau multi/ banyak) dapat berupa:

a) gorong-gorong,
b) jembatan pelat.

Potongan melintang gorong-gorong dapat berbentuk sebagai berikut:

a) bulat. Bentuk bulat ini secara konstruksi dalam kondisi pembebanan yang besar cukup efisien,
b) busur lingkaran atau bagian dari bulat telur. Bentuk ini umumnya digunakan sebagai pengganti bentuk bulat yang terbatas penutupnya. Apabila dibandingkan dengan bentuk bulat, bentuk busur lingkaran dan bagian bulat telur ini untuk kapasitas hidraulik yang sama biayanya relatif lebih mahal, dan
c) kotak atau persegi. Bentuk ini biasanya dipilih untuk menyalurkan volume air yang besar dan dapat menyesuaikan hampir semua kondisi setempat.

6.3.5 Bahan

Agar drainasi dapat berfungsi dengan baik selama waktu yang diharapkan, pada dasarnya saluran drainasi harus tahan terhadap hal-hal berikut:

a) karakteristik/kondisi setempat yang dapat merusak saluran,
b) gaya-gaya yang akan bekerja pada saluran dimaksud.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut di atas, maka pada pemilihan bahan yang akan digunakan pada saluran memanjang harus memperhatikan topografi setempat dan sifat/karakteristik tanah setempat. Saluran memanjang dapat dibuat dengan atau tanpa perkuatan saluran, tergantung pada topografi dan sifat/karateristik tanah setempat.

Saluran melintang harus terbuat dari bahan yang kuat, misalnya dengan perkuatan susunan batu yang diplester, beton, dsb, dan harus menggunakan tutup yang kuat, di antaranya:

a) beton bertulang,

b) baja bergelombang.

6.3.6 Kemiringan dan Kecepatan Aliran Air

Kemiringan saluran drainasi dan kecepatan aliran pembuangan air yang terjadi harus sedemikian sehingga tidak menimbulkan kerusakan saluran, tetapi jangan sampai terjadi endapan pada saluran drainasi dimaksud. Apabila kecepatan aliran pembuangan air terlalu besar akan terjadi erosi pada saluran drainasi, akan tetapi apabila kecepatan aliran pembuangan terlalu rendah akan terjadi pengendapan pada saluran dimaksud. Untuk memenuhi persyaratan tersebut maka perancangan kemiringan saluran harus mendasarkan pada keadaan setempat dan kecepatan aliran yang akan terjadi. Mengingat bahwa tiap-tiap bahan pembentuk saluran mempunyai ketahanan terhadap erosi yang berbeda-beda, maka penetapan kecepatan aliran perancangan harus memperhatikan bahan pembentuk salurannya. Sebagai petunjuk awal dapat digunakan Tabel 6.1 di bawah ini.

Tabel 6.1 Bahan saluran dan kecepatan perancangan

Bahan Saluran	Kecepatan perancangan (m/detik)
Beton	0,6 – 3,0
Aspal	0,6 – 1,5
Pasangan batu/bata	0,6 – 1,8
Kerikil, atau lempung yang sangat kompak	0,6 – 1,0
Pasir kasar, atau tanah berkerikil atau berpasir	0,3 – 0,6
Lempung dengan sedikit pasir	0,2 – 0,3
Tanah berpasir halus, atau berlanau	0,1 – 0,2

(Sumber : Peraturan Dinas No.10, PJKA)

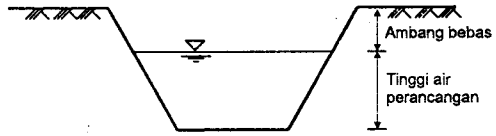
6.3.7 Perancangan Saluran Terbuka

Pada perancangan saluran terbuka drainasi permukaan, harus dipenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

a) dimensi penampang/potongan melintang harus cukup besar untuk membuang air yang ada dipermukaan yang akan dibuang/dialirkannya,

b) apabila dari perhitungan yang dilakukan telah diperoleh tinggi air perancangan, maka tinggi saluran masih harus ditambah dengan ambang bebas (*free board*) yang penentuannya mendasarkan pada loncatan air hidraulik ditambah dengan ambang tambahan minimum sebesar 15 cm. Periksa Gambar 6.1.

c) koefisien kekasaran saluran ditentukan berdasarkan atas jenis permukaan salurannya, yang sebagai petunjuk dapat dapat digunakan Tabel 6.2.



Gambar 6.1 Tinggi air dan ambang bebas

Tabel 6.2 Koefisien kekasaran saluran

Bahan saluran	Permukaan saluran	Koefisien kekasaran
Tidak diperkuat	Tanah	0,02 – 0,025
	Pasir dan kerikil	0,025 – 0,04
	Cadas	0,025 – 0,035
Cor di tempat	Plesteran semen	0,01 – 0,013
	Beton	0,013 – 0,018
Pra-cetak	Pipa beton bertulang	0,01 – 0,014
	Pipa gelombang	0,016 – 0,025

(Sumber : Peraturan Dinas No.10, PJKA)

Besarnya debit air yang harus dibuang dengan sistem drainasi permukaan ini bergantung pada:

a) luas daerah yang aliran airnya akan menuju jalan rel,

b) intensitas hujan daerah setempat, dan

c) koefisien pengaliran daerah setempat.

6.3.8 Perancangan Saluran Melintang dan Gorong-gorong

Pada perancangan teknik saluran melintang dan gorong-gorong secara umum harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

a) tinggi timbunan,
b) bentuk timbunan,
c) bentuk saluran,
d) ketinggian air,
e) debit aliran, dan
f) pemeliharaan.

Secara spesifik untuk perancangan saluran melintang dan gorong-gorong pada jalan rel perlu memperhatikan persyaratan sebagai berikut:

a) apabila saluran melintang bertemu dengan saluran memanjang, pada pertemuan tersebut harus dipasang bak penampung tanah (*sand trap*),
b) tanah di sekeliling bidang saluran melintang harus dipadatkan dengan baik dan benar, sesuai dengan pemadatan yang diperlukan untuk badan jalan rel,
c) untuk keperluan kemudahan dalam pemeliharaan, minimum ukuran diameter atau alas saluran ialah 60 cm, dan
d) tidak boleh terjadi kebocoran atau rembesan air, baik karena bahan atau sambungan. Kebocoran dan rembesan air akan melemahkan badan jalan rel di bawah saluran; melemahnya badan jalan rel akan membahayakan jalan rel.

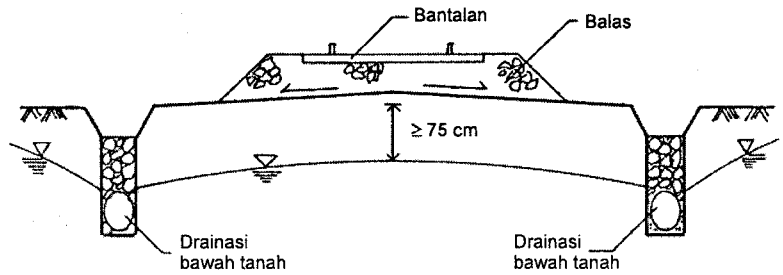
6.4 DRAINASI BAWAH PERMUKAAN

6.4.1 Maksud dan Tujuan

Drainasi bawah permukaan jalan rel dimaksudkan untuk menjaga elevasi muka air tanah tidak mendekati permukaan tanah tempat badan jalan rel berada. Dengan demikian maka konsistensi dan kepadatan badan jalan dapat dipertahankan dalam keadaan baik.

6.4.2 Perancangan

Sesuai dengan maksud dan tujuannya, pada badan jalan rel berupa permukaan asli dan galian, ketebalan bagian badan jalan rel setebal minimum 75 dari dasar balas harus selalu dalam keadaan kering (periksa Gambar 6.2).



Gambar 6.2 Drainasi bawah permukaan untuk menurunkan permukaan air tanah

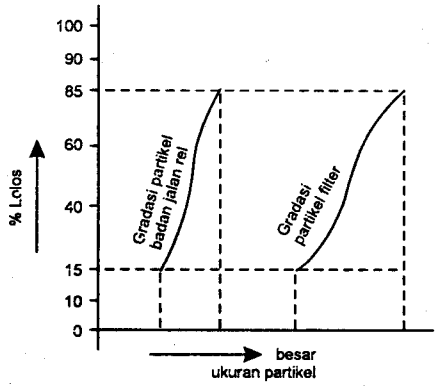
Konstruksi drainasi bawah permukaan biasanya berupa pipa berlubang yang dipasang di bawah permukaan di pinggir kanan atau kiri badan jalan rel. Pipa berlubang ini diletakkan di atas lapisan pasir setebal ≥ 10 cm, kemudian secara berurutan di atasnya dihamparkan (dan dipadatkan) kerikil dengan ketebalan lebih dari 15 cm, di atas lapisan kerikil tersebut dihamparkan bahan kedap air.

Selain itu saluran pipa berlubang harus dilindungi oleh bahan filter yang bahannya dapat dipilih dan disesuaikan dengan keadaan setempat. Ukuran partikel filter tergantung pada ukuran partikel bahan badan jalan rel dan ukuran lubang-lubang dinding pipa. Gambar 6.3 dapat digunakan untuk gradasi partikel filter yang digunakan.

6.4.3 Data yang Diperlukan untuk Perencanaan dan Perancangan

Beberapa data yang diperlukan untuk perencanaan dan perancangan drainasi bawah permukaan ialah:

a) elevasi muka air tanah pada saat musim basah/penghujan,
b) koefisien permeabilitas tanah setempat, dan
c) elevasi dan kemiringan lapisan kedap air yang ada.



Gambar 6.3 Diagram penentuan partikel bahan filter.

6.5 DRAINASI LERENG

6.5.1 Maksud dan Tujuan

Drainasi lereng jalan rel dubuat dengan maksud dan tujuan di bawah ini:

a) sebagai upaya untuk mencegah agar air permukaan yang berasal dari punggung lereng tidak mengalir secara deras, karena aliran yang deras dapat mengakibatkan gerusan pada permukaan dan kaki lereng,

b) mencegah terjadinya rembesan air dari permukaan lereng ke dalam badan jalan rel, karena rembesan yang terjadi dapat menyebabkan lereng longsor secara mendadak dan atau memperlemah badan jalan rel.

6.5.2 Jenis Drainasi Lereng

Terdapat empat jenis drainasi lereng, yaitu:

a) selokan punggung, berupa saluran terbuka yang memanjang di punggung lereng,

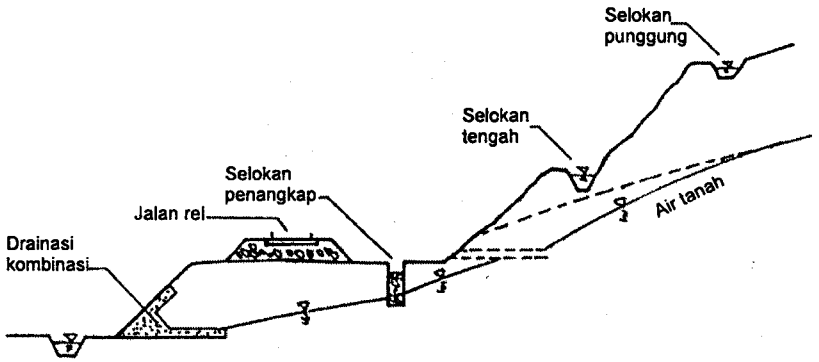
b) selokan tengah, berupa saluran terbuka yang memanjang di tengah lereng,

c) selokan penangkap, berupa saluran terbuka yang memanjang di kaki lereng, dan

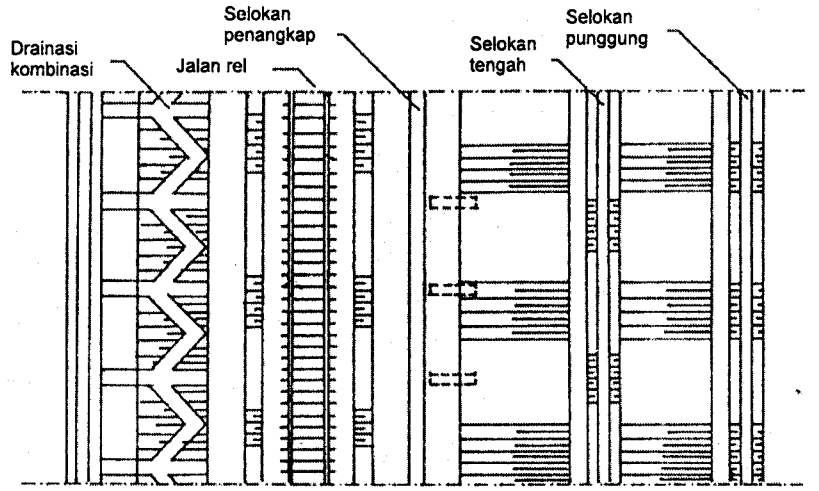
d) drainasi kombinasi, yaitu kombinasi antara drainasi tegak lurus dan drainasi miring.

Penggunaan jenis-jenis dan letak drainasi lereng tergantung pada kondisi setempat.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang bentuk dan letak drainasi lereng, Gambar 6.4 dan Gambar 6.5 memberikan contoh bentuk dan letak drainasi lereng.



Gambar 6.4 Contoh potongan melintang drainasi lereng



Gambar 6.5 Contoh tampak atas drainasi lereng

6.5.3 Bahan

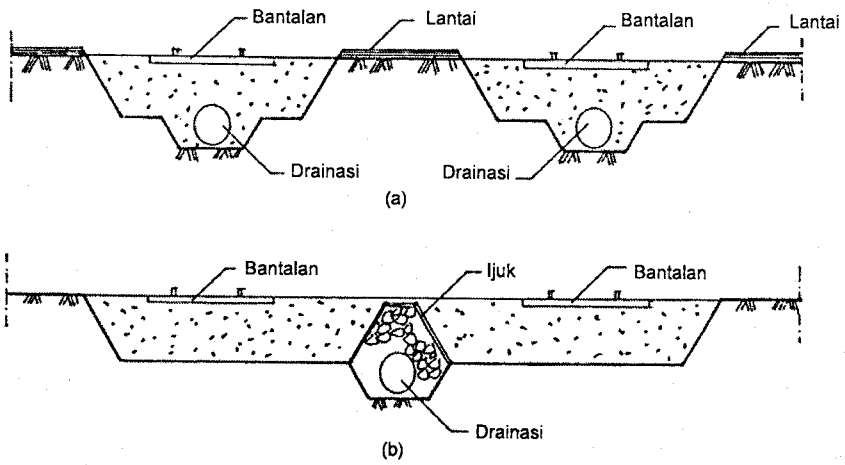
Bahan yang diperlukan untuk drainasi lereng seperti yang digunakan pada drainasi permukaan.

6.5.4 Kemiringan

Seperti halnya pada perencanaan dan perancanaan drainasi pada umumnya, kemiringan saluran harus sedemikian sehingga kecepatan aliran yang terjadi tidak boleh merusak saluran, oleh karena itu maka penetapan kemiringan saluran harus memperhatikan bahan yang digunakan dan kecepatan aliran yang diijinkan.

6.6 DRAINASI DI EMPLASEMEN

Kondisi spesifik terjadi di emplasemen, yaitu terdapat banyak jalur (*track*) yang berdampingan. Untuk mendapatkan pembuangan air yang baik dapat dibuat saluran terbuat dari pipa dengan dinding berlubang-lubang atau saluran yang terbuat dari batu kosong, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.6. Pada Gambar 6.6 (a) dapat dilihat bahwa pada tiap-tiap *track* di bawahnya dipasang saluran drainasi. Sedangkan pada Gambar 6.6 (b) diperlihatkan penggunaan satu saluran drainasi untuk fasilitas drainasi dua buah track yang berdampingan.



Gambar 6.6 Contoh drainasi di emplasemen

Bab VII

GEOMETRI JALAN REL

7.1 PENGANTAR

Geometri jalan rel yang dimaksud ialah bentuk dan ukuran jalan rel, baik pada arah memanjang maupun arah melebar yang meliputi lebar sepur, kelandaian, lengkung horisontal dan lengkung vertikal, peninggian rel, perlebaran sepur. Geometri jalan rel harus direncanakan dan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mencapai hasil yang efisien, aman, nyaman, ekonomis. Uraian mengenai geometri jalan rel berikut terutama berdasarkan pada standar yang digunakan di Indonesia oleh PT. Kereta Api (persero), dan ditambah dengan bahan dari acuan yang lain.

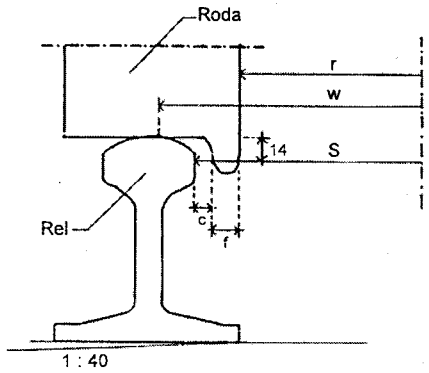
7.2 LEBAR SEPUR

Telah disebutkan di depan (Bab II) bahwa di Indonesia digunakan lebar sepur (*track*) 1067 mm (3 feet 6 inches) yang tergolong pada sepur sempit. Pada bab tersebut telah pula dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan lebar sepur ialah jarak terpendek antara kedua kepala rel, diukur dari sisi dalam kepala rel yang satu sampai sisi dalam kepala rel lainnya (Gambar 2.3). Hubungan antara lebar sepur, ukuran dan posisi roda di atas kepala rel ialah sebagai berikut (lihat Gambar 7.1):

$$S = r + 2.f + 2.c \qquad (7.1)$$

dengan:

S : lebar sepur (mm)
r : jarak antara bagian terdalam roda (mm),
f : tebal flens (mm),
c : celah antara tepi-dalam flens dengan kepala rel (mm).



Gambar 7.1 Lebar sepur

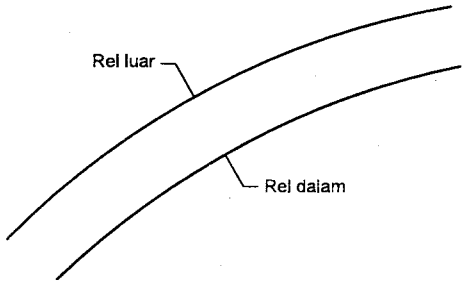
Lebar sepur 1067 mm dan hubungan tersebut (7.1) ialah untuk jalur lurus dan besarnya tetap, tidak tergantung pada jenis serta dimensi rel yang digunakan. Sedangkan pada lengkung horisontal, lebar sepur memerlukan perlebaran yang tergantung pada jari-jari lengkung horisontalnya (uraian tentang perlebaran disampaikan pada 7.6)

7.3 LENGKUNG HORISONTAL

Apabila dua bagian lintas lurus perpanjangannya bertemu membentuk sudut, maka dua bagian tersebut harus dihubungkan oleh suatu lengkung horisontal (lihat Gambar 7.2). Lengkung horisontal dimaksudkan untuk mendapatkan perubahan secara berangsur-angsur arah alinemen horisontal sepur.

Pada saat kereta api berjalan melalui lengkung horisontal, timbul gaya sentrifugal ke arah luar yang akan berakibat:

a) rel luar mendapat tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan rel dalam,
b) keausan rel luar akan lebih banyak dibandingkan dengan yang terjadi pada rel dalam, dan



Gambar 7.2 Lengkung horisontal

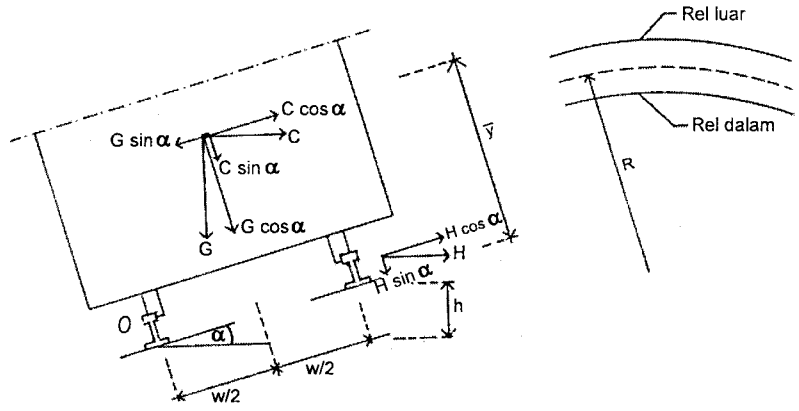
c) bahaya tergulingnya kereta api.

Untuk mencegah terjadinya akibat-akibat tersebut di atas, maka lengkung horisontal perlu diberi peninggian pada rel luarnya. Oleh karena itu, maka perancangan lengkung horisontal berkaitan dengan peninggian rel.

Terdapat tiga jenis lengkung horisontal, yaitu: lengkung lingkaran, lengkung transisi dan lengkung S. Ketiga jenis lengkung horisontal tersebut akan diuraikan berikut.

7.3.1 Lengkung Lingkaran

Pada saat kereta api melalui lengkung horisontal, kedudukan kereta/gerbong/lokomotif, gaya berat kereta, gaya sentrifugal yang timbul dan dukungan komponen struktur jalan rel, dapat digambarkan dengan Gambar 7.3.



R : jari-jari lengkung G : berat kereta/gerbong/lokomotif
D : dukungan komponen struktur jalan rel
C : gaya sentrifugal h : peninggian rel
w : jarak antara kedua titik kontak antara roda dengan kepala rel.

Gambar 7.3 Kedudukan kereta/gerbong/lokomotif pada saat melalui lengkung horisontal

Pada kedudukan seperti yang tergambar pada Gambar 7.3 dimaksud, untuk berbagai kecepatan, jari-jari minimum yang digunakan perlu ditinjau dari dua kondisi, yaitu:

a) gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja,
b) gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel.

Kedua kondisi tersebut di atas dapat diuraikan berikut.

Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja

Untuk uraian ini, lihat Gambar 7.3.

Gaya sentrifugal yang timbul:

$$C = \frac{m.V^2}{R}$$

dengan:

C : gaya sentrifugal,
R : jari-jari lengkung lingkaran,
V : kecepatan kereta api,

$$m = \text{massa} = \frac{G}{g}$$

g : percepatan gravitasi = 9,81 m/detik^2

Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat, maka:

$$G.\sin\alpha = C\cos\alpha$$

$$G\sin\alpha = \frac{m.V^2}{R}\cos\alpha$$

$$G\sin\alpha = \frac{G.V^2}{g.R}\cos\alpha$$

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha = \frac{V^2}{g.R}$$

$$\tan\alpha = \frac{h}{w}$$

sehingga:

$$h = \frac{w.V^2}{g.R}$$

dengan satuan praktis, yaitu:

V : Kecepatan perancangan, dalam km/jam,
R : jari-jari lengkung horisontal, dalam meter,
w : Jarak antara kedua titik kontak roda dan rel, sebesar 1120 mm,
h : Peninggian rel pada lengkung horisontal, dalam mm,
g : Percepatan gravitasi, sebesar 9,81 m/det2, didapat :

$$h = \frac{8{,}8.V^2}{R}$$

sehingga :

$$R = \frac{8{,}8V^2}{h} \qquad (7.2)$$

Dengan peninggian maksimum, h_{maks} = 110 mm (lihat uraian pada 7.5 PENINGGIAN REL) maka:

$$R = \frac{8{,}8.V^2}{110}$$

atau:

$$R = 0{,}08\ V^2$$

Dengan demikian maka jari-jari minimum lengkung lingkaran pada kondisi ini ialah:

$$R_{minimum} = 0{,}08\ V^2 \qquad (7.3)$$

dengan :

$R_{minimum}$: Jari-jari minimum (meter yang diperlukan pada kondisi gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja, dan menggunakan peninggian maksimum,

V : Kecepatan perancangan (km/jam)

Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel

Kemampuan dukung komponen struktur jalan rel yang dimaksud di sini ialah kemampuan dukung total yang dapat diberikan oleh komponen struktur jalan rel, yaitu rel, sambungan rel, penambat rel, bantalan dan balas.

Lihat Gambar 7.3, gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen jalan rel, sehingga:

$$C\cos\alpha = G\sin\alpha + D\cos\alpha$$

$$\frac{mV^2}{R}\cos\alpha = G\sin\alpha + D\cos\alpha$$

$$G\sin\alpha = \left(\frac{mV^2}{R} - D\right)\cos\alpha$$

$$G\tan\alpha = \frac{mV^2}{R} - D$$

Besarnya dukungan komponen struktur jalan rel tergantung pada massa dan percepatan sentrifugal, yaitu:

$$D = m \,.\, a$$

dengan:

a : percepatan sentrifugal,
m : massa.

Oleh karena :

$$\tan\alpha = \frac{h}{w}$$

maka :

$$G = \frac{h}{w} = \frac{G}{g}.\frac{V^2}{R} - \frac{G}{g}.a$$

$$\frac{h}{w} = \frac{V^2}{g.R} - \frac{a}{g}$$

$$\frac{a}{g} = \frac{V^2}{g.R} - \frac{h}{w}$$

$$a = \left(\frac{V^2}{g.R} - \frac{h}{w}\right)g$$

Karena V dalam satuan km/jam, maka perlu diubah menjadi dalam satuan m/detik, sehingga:

$$a = 0{,}077\frac{V^2}{R} - g\frac{h}{w}$$

atau:

$$a = \frac{V^2}{13R} - g\frac{h}{w}$$

$$a + g\frac{h}{w} = \frac{V^2}{13R}$$

$$13R = \frac{V^2}{a + g\dfrac{h}{w}}$$

Percepatan sentrifugal (a) ialah dalam satuan m/detik^2. Berapakah besarnya percepatan sentrifugal yang digunakan ?.

Agar supaya penumpang kereta api masih merasa nyaman, besarnya percepatan sentrifugal maksimum (a_{maks}) ialah 0,0478.g. Uraian mengenai percepatan sentrifugal dapat dilihat pada sub-bab 7.4.

$$13R = \frac{V^2}{0{,}0478\,g + g\dfrac{h}{w}}$$

dengan w yang merupakan jarak antara kedua titik kontak roda dan rel, yaitu sebesar 1120 mm, maka diperoleh:

$$13R = \frac{V^2}{0{,}0478\,g + g\dfrac{h}{1120}} \qquad (7.4)$$

Dengan penggunaan peninggian maksimum (h_{maks}) sebesar 110 mm, maka:

$$13R = \frac{V^2}{0{,}0478\,g + g\dfrac{110}{1120}}$$

$$R = 0{,}0537\,V^2$$

$$R \approx 0{,}054\,V^2$$

Sehingga digunakan:

$$R_{minimum} = 0{,}054\,V^2 \qquad (7.5)$$

dengan :

$R_{minimum}$: Jari-jari minimum (meter) yang diperlukan pada kondisi gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel, dan menggunakan peninggian maksimum,

V : Kecepatan perancangan (km/jam).

7.3.2 Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Transisi

Pada bentuk lengkung horisontal tanpa adanya lengkung transisi (lihat 7.3.3. Lengkung Transisi) dan tidak ada peninggian rel yang harus dicapai, berdasarkan pada persamaan peninggian minimum, yaitu:

$$h = 8{,}8\frac{V^2}{R} - 53{,}54 \qquad \text{(lihat persamaan 7.11)}$$

karena h = 0 (tidak ada peninggian rel), maka:

$$R = 0{,}164\,V^2 \qquad (7.6)$$

Tabel 7.1 memuat daftar jari-jari minimum lengkung horisontal tanpa lengkung transisi dan jari-jari minimum yang diijinkan untuk berbagai kecepatan perancangan yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero).

Tabel 7.1 Persyaratan jari-jari minimum lengkung horisontal

Kecepatan perancangan (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran *tanpa* lengkung transisi (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung transisi (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

7.3.3 Lengkung Transisi

Untuk mengurangi pengaruh perubahan gaya sentrifugal sehingga penumpang kereta api tidak terganggu kenyamannya, dapat digunakan lengkung transisi (*transition curve*). Panjang lengkung transisi tergantung pada perubahan gaya sentrifugal tiap satuan waktu, kecepatan, dan jari-jari lengkung lingkaran. Untuk mendapatkan panjang lengkung transisi dapat dijelaskan berikut.

$$\text{Gaya sentrifugal} = m.a = \frac{V^2}{R}$$

Apabila t adalah waktu yang diperlukan untuk berjalan melintasi lengkung transisi, maka:

$$t = \frac{L}{V}$$

dengan:

L : panjang lengkung transisi,

V : kecepatan kereta api.

sehingga:

$$\frac{m.a}{t} = \frac{m.V^2/R}{L/V}$$

$$m.\frac{a}{t} = m.\frac{V^3}{R.L}$$

$$\frac{a}{t} = \frac{V^3}{R.L}$$

$$L = \frac{V^3.t}{a.R}$$

dengan digunakan $a_{maksimum}$ = 0,0478.g, maka dengan menggunakan satuan praktis diperoleh:

$$L = 0{,}06\frac{V^3}{R}$$

Berdasarkan persamaan 7.10:

$$h = 5{,}95\frac{V^2}{R}$$

diperoleh:

$$L = 0{,}01 \,.\, h \,.\, V$$

Oleh karena itu, maka panjang minimum lengkung transisi yang diperlukan ialah:

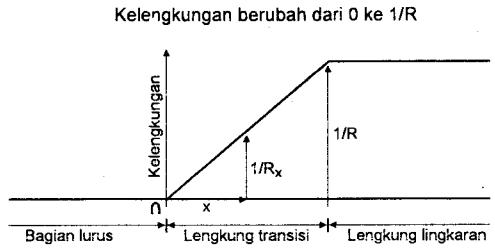
$$Lh = 0{,}01 \,.\, h \,.\, V \qquad (7.7)$$

dengan:

Lh = panjang minimum lengkung transisi (m),
h = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm),
V = kecepatan perancangan (km/jam),
R = jari-jari lengkung lingkaran (m).

Salah satu bentuk lengkung transisi ialah *Cubic Parabola* (parabola pangkat tiga), seperti yang diuraikan berikut.

Diagram kelengkungan pada lengkung transisi ialah seperti Gambar 7.4 di bawah ini:

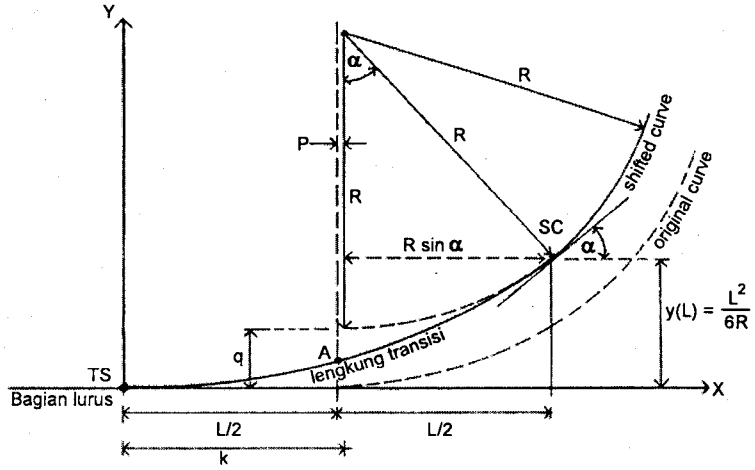


Gambar 7.4 Diagram kelengkungan lengkung transisi

Persamaan *cubic parabola* ialah sebagai berikut:

$$y = \frac{x^3}{6.R.L} \qquad (7.8)$$

Berdasar pada persamaan pangkat tiga tersebut di atas, dengan Gambar 7.5 dapat ditunjukkan gambar sebagian bentuk lengkung transisi dan lengkung lingkarannya. Pada Gambar 7.5. tersebut juga dapat dilihat letak lengkung transisi dan lengkung lingkaran beserta titik-titik/bagian-bagian pentingnya.



Gambar 7.5 Lengkung transisi bentuk *cubic parabola*

Pada Gambar 7.5 di atas dapat dilihat bahwa:

TS : titik pertemuan antara bagian lurus dengan lengkung transisi,

SC : titik pertemuan antara lengkung transisi dengan lengkung lingkaran.

$$p = L/2 - R \,.\, \sin\alpha$$

$$k = L - R \,.\, \sin\alpha$$

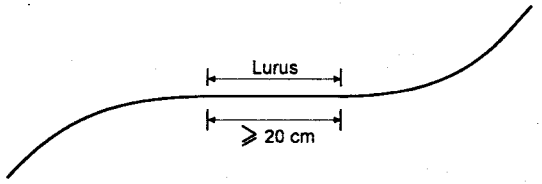
$$q = \frac{L^2}{6.R} + R.\cos\alpha - R$$

dengan L adalah panjang lengkung peralihan (Lh). Sedangkan lengkung transisi berbentuk parabola dari TS melalui A hingga titik SC. Mulai SC didapatkan lengkung lingkaran.

Dengan lengkung transisi seperti tersebut di atas terjadi pergeseran letak lengkung, yaitu dari letak lengkung semula (*original curve*) yang tanpa lengkung transisi, ke letak lengkung yang bergeser (*shifted curve*) karena menggunakan lengkung transisi.

7.3.4 Lengkung S

Pada dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak bersambungan, akan membentuk suatu lengkung membalik (*reverse curve*) dengan bentuk huruf S, sehingga dikenal sebagai "lengkung S". Antara kedua lengkung yang berbeda arah sehingga membentuk hurus S ini harus diberi bagian lurus minimum 20 meter di luar lengkung transisi, seperti yang digambarkan dengan Gambar 7.6.



Gambar 7.6 Bentuk lengkung S

7.4 PERCEPATAN SENTRIFUGAL

Telah disebutkan di depan bahwa pada saat kereta api berjalan melintasi lengkung horisontal terjadi gaya sentrifugal ke arah luar. Gaya sentrifugal adalah fungsi dari massa benda dan percepatan sentrifugal. Percepatan sentrifugal adalah fungsi dari kecepatan dan jari-jari lengkung, seperti berikut ini:

$$a = \frac{V^2}{R}$$

dengan :

a : percepatan sentrifugal,
V : kecepatan,
R : jari-jari lengkung.

Percepatan sentrifugal yang timbul akan berpengaruh pada:

a) kenyamanan penumpang kereta api,
b) tergesernya (ke arah luar) barang-barang di dalam kereta/gerbong/lokomotif, dan
c) gaya sentrifugal yang berpengaruh pada keausan rel dan bahaya tergulingnya kereta api.

Untuk mengatasi pengaruh tersebut di atas, perlu dilakukan langkah-langkah berikut:

a) pemilihan jari-jari lengkung horisontal (R) yang cukup besar,
b) pembatasan kecepatan kereta api (V), dan
c) peninggian rel sebelah luar.

Dengan pertimbangan agar supaya kenyamanan penumpang tetap terjaga dan barang-barang di dalam kereta/gerbong/lokomotif tidak tergeser, percepatan sentrifugal yang terjadi perlu dibatasi sebagai berikut:

$$a_{maksimum} = 0{,}0478.\ g \qquad (7.9)$$

dengan:

g = percepatan gravitasi (m/detik^2)

7.5 PENINGGIAN REL

Kegunaan peninggian rel dan kaitannya dengan perancangan lengkung horisontal telah disebutkan di depan. Terdapat tiga peninggian rel, yaitu:

a) peninggian normal,

b) peninggian minimum,

c) peninggian maksimum, dan yang akan diuraikan berikut.

7.5.1 Peninggian Normal

Peninggian normal berdasar pada kondisi komponen jalan rel tidak ikut menahan gaya sentrifugal. Pada kondisi ini gaya sentrifugal sepenuhnya diimbangi oleh gaya berat saja.

Dalam uraian pada 7.3.1 telah disebutkan bahwa:

$$R = \frac{8{,}8V^2}{h}$$

atau:

$$h = \frac{8{,}8V^2}{R}$$

Persamaan 7.3 menyebutkan bahwa:

$$R_{minimum} = 0{,}054\ V^2$$

atau:

$$V = 4{,}3\ \sqrt{R}$$

Apabila persamaan tentang hubungan antara h dengan V dan R di atas diwujudkan dalam bentuk:

$$h = k\frac{V^2}{R}$$

dengan $h_{maksimum} = 110$ mm, maka:

$$110 = k\frac{(4{,}3\sqrt{R})^2}{R}$$

dan dapat diperoleh k = 5,95, sehingga:

$$h_{normal} = 5{,}95\frac{V^2}{R} \qquad (7.10)$$

dengan:

V : kecepatan rencana (km/jam),
R : jari-jari lengkung horisontal (m),
h_{normal} : peninggian normal (mm).

7.5.2 Peninggian Minimum

Peninggian minimum berdasar pada kondisi gaya maksimum yang dapat ditahan oleh komponen jalan rel dan kenyamanan penumpang kereta api.

Dengan menggunakan Gambar 7.1, pada 7.3.1 telah disebutkan bahwa:

$$G = \frac{h}{w} = \frac{G}{g}.\frac{V^2}{R} - \frac{G}{g}a$$

maka:

$$h = \frac{w.V^2}{g.R} - \frac{w.a}{g}$$

karena:

w = 1120 mm,
g = 9,81 (m/detik^2),
a = 0,0478 g (m/detik^2),

diperoleh:

$$h = \frac{8{,}8V^2}{R} - 53{,}536$$

$$h \approx \frac{8{,}8V^2}{R} - 53{,}54$$

Sehingga digunakan:

$$h_{minimum} = 8{,}8\frac{V^2}{R} - 53{,}54 \qquad (7.11)$$

dengan:

$h_{mininum}$: peninggian minimum (mm),
V : kecepatan perancangan (km/jam),
R : jari-jari lengkung horisontal (m).

7.5.3 Peninggian Maksimum

Peninggian maksimum ditentukan berdasarkan pada stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung horisontal dengan pembatasan kemiringan maksimum sebesar 10%. Apabila kemiringan melebihi 10% maka benda-benda yang terletak pada lantai kereta api dapat bergeser ke arah sisi dalam. Dengan digunakan kemiringan maksimum 10% peninggian rel maksimum yang digunakan ialah 110 mm.

Mengenai faktor keamanan terhadap bahaya guling kereta/gerbong/ lokomotif saat berhenti di bagian lengkung horisontal dengan peninggian rel sebesar 110 mm dapat dijelaskan sebagai berikut.

Lihat Gambar 7.3.

Momen terhadap titik O ialah:

$$SF \times G \times \sin\alpha \times y = G \times \cos\alpha \times \frac{w}{2}$$

$$\tan\alpha = \frac{w}{SF \times 2 \times y}$$

dengan:

SF : faktor keamanan terhadap bahaya guling,

padahal:

$$\tan\alpha = \frac{h}{w}$$

sehingga:

$$\frac{h}{w} = \frac{w}{SF \times 2 \times y}$$

atau:

$$SF = \frac{w^2}{h \times 2 \times y}$$

Apabila digunakan $h = h_{maks} = 110$ mm, $w = 1120$ mm dan y untuk kereta/gerbong/lokomotif yang digunakan di Indonesia = 1700 mm, maka:

$$SF = 3{,}35$$

Dengan demikian maka faktor keamanan terhadap bahaya guling pada saat berhenti di bagian lengkung horisontal dengan h_{maks} sebesar 110 mm ialah sebesar sekitar 3,3.

7.5.4 Penggunaan Peninggian Rel

Dari uraian pada 7.5.1 hingga 7.5.3 dapat disimpulkan bahwa peninggian rel pada lengkung horisontal ditentukan berdasarkan h_{normal}, yaitu:

$$h_{normal} = 5{,}95\frac{V^2}{R}(mm) \qquad \text{(lihat persamaan 7.10),}$$

dengan batas-batas sebagai berikut:

$$h_{maksimum} = 110 \text{ mm}$$

$$h_{minimum} = 8{,}8\frac{V^2}{R} - 53{,}54\,(mm) \qquad \text{(lihat persamaan 7.11)}$$

Dengan pertimbangan penerapannya di lapangan, maka peninggian rel yang diperoleh melalui perhitungan teoritis di atas, dibulatkan ke 5 mm terdekat ke atas. Sebagai contoh apabila dalam perhitungan diperoleh h = 3,5 mm maka peninggian rel yang digunakan ialah 5 mm.

Dalam pelaksanaannya, peninggian rel dilakukan dengan cara meninggikan rel-luar, bukan menurunkan rel-dalam. Dengan demikian maka peninggian rel dicapai dengan cara menempatkan rel-dalam tetap pada elevasinya dan rel-luar ditinggikan. Hal ini dipilih karena

pekerjaan meninggikan elevasi rel relatif lebih mudah dibandingkan dengan menurunkan elevasi rel.

Besarnya peninggian rel berdasarkan h_{normal} untuk berbagai kecepatan perancangan dan jari-jari lengkung lingkaran disajikan pada Tabel 7.2.

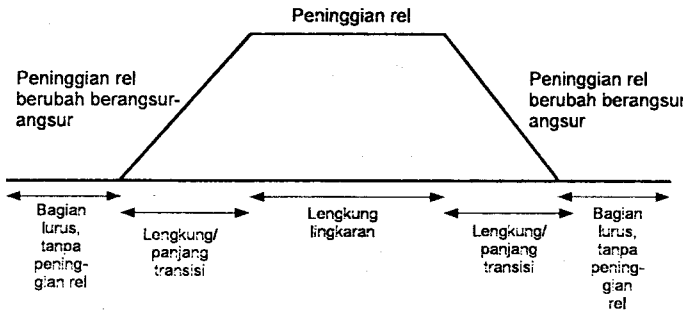
Peninggian rel dicapai dan dihilangkan tidak mendadak tetapi berangsur-angsur sepanjang lengkung transisi. Pada keadaan lengkung horisontal tanpa lengkung transisi, peninggian rel dicapai dan dihilangkan berangsur-angsur sepanjang suatu "panjang transisi" dengan batasan panjang minimum yang pada dasarnya dapat dihitung dengan persamaan 7.7, sehingga:

$$Ph = 0{,}01 \cdot h \cdot V \qquad (7.12)$$

dengan:

Ph = panjang minimum "panjang transisi" (m),
h = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm),
V = kecepatan perancangan (km/jam).

Diagram peninggian rel dapat dilihat pada Gambar 7.7 di bawah ini:



Gambar 7.7 Diagram peninggian rel

Diagram peninggian rel seperti diuraikan di atas sering disebut pula dengan Diagram Superelevasi.

Tabel 7.2 Peninggian rel di lengkung horisontal berdasarkan peninggian normal

Jari-jari (m)	Peninggian rel (mm) pada setiap Kecepatan perancangan (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
150							-------
200							110
250						-------	90
300					-------	100	75
350					110	85	65
400				-------	100	75	55
450				110	85	65	50
500			-------	100	80	60	45
550			110	90	70	55	40
600			100	85	65	50	40
650		-------	95	75	60	50	35
700		105	85	70	55	45	35
750	-------	100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
900	100	80	70	55	45	35	25
950	95	80	65	55	45	35	25
1000	90	75	60	50	40	30	25
1100	80	70	55	45	35	30	20
1200	75	60	55	45	35	25	20
1300	70	60	50	40	30	25	20
1400	65	55	45	35	30	25	20
1500	60	50	40	35	30	20	15
1600	55	45	40	35	25	20	15
1700	55	45	35	30	25	20	15
1800	50	40	35	30	25	20	15
1900	50	40	35	30	25	20	15
2000	45	40	30	25	20	15	15
2500	35	30	25	20	20	15	10
3000	30	25	20	20	15	10	10
3500	25	25	20	15	15	10	10
4000	25	20	15	15	10	10	10

(Sumber : PD 10. PJKA)

7.6 PERLEBARAN SEPUR

Analisis perlebaran sepur didasarkan pada kereta/gerbong yang menggunakan dua gandar. Dua gandar tersebut yaitu gandar depan dan gandar belakang merupakan satu kesatuan yang teguh, sehingga disebut sebagai Gandar Teguh (*rigid wheel base*). Karena merupakan kesatuan yang teguh itu maka gandar belakang akan tetap sejajar dengan gandar depan, sehingga pada waktu kereta dengan gandar teguh melalui suatu lengkung, akan terdapat 4 kemungkinan posisi, yaitu sebagai berikut (lihat Gambar 7.8):

a) posisi 1 : gandar depan mencapai rel luar, gandar belakang pada posisi bebas di antara rel dalam dan rel luar. Posisi seperti ini disebut sebagai Jalan Bebas,

b) posisi 2 : gandar depan mencapai rel luar, gandar belakang menempel pada rel dalam tetapi tidak menekan, dan gandar belakang posisinya radial terhadap pusat lengkung horizontal,

c) posisi 3 : gandar depan menempel pada rel luar, gandar belakang menempel dan menekan rel dalam. Baik gandar depan maupun gandar belakang tidak pada posisi radial terhadap pusat lengkung horizontal, dan

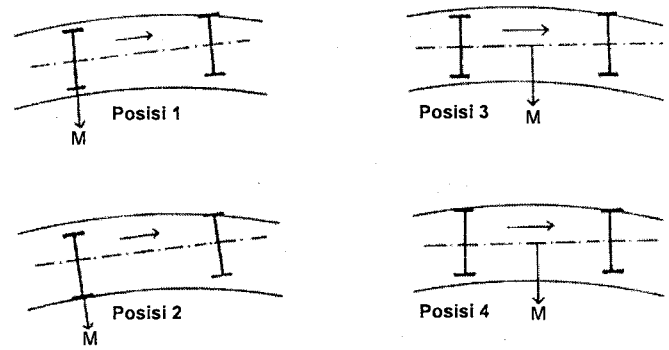
d) posisi 4 : gandar depan dan gandar belakang menempel pada rel luar. Posisi ini dapat terjadi pada kereta/gerbong dengan kecepatan yang tinggi. Posisi 4 ini disebut Jalan Tali Busur.

Gaya tekan yang timbul akibat terjepitnya roda kereta/gerbong akan mengakibatkan keausan rel dan roda menjadi lebih cepat. Untuk mengurangi percepatan keausan rel dan roda tersebut, perlu dibuat perlebaran sepur. Ukuran perlebaran sepur dimaksud dipengaruhi oleh:

a) jari-jari lengkung horisontal,

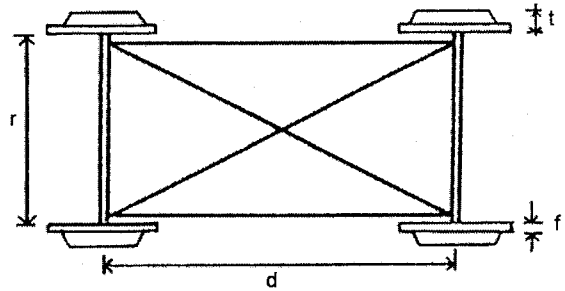
b) jarak gandar depan dan gandar belakang pada gandar teguh,

c) kondisi keausan roda kereta dan rel.



Gambar 7.8 Posisi roda dan gandar teguh pada saat kereta melalui lengkung

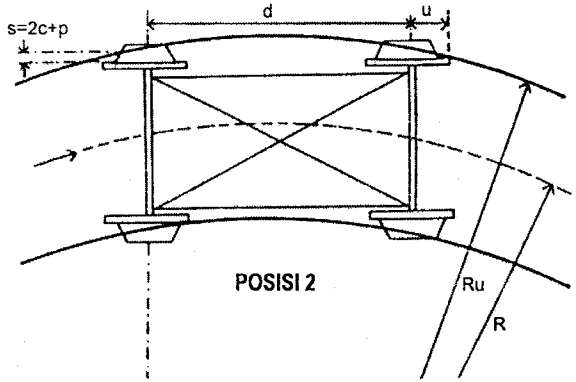
Karena beragamnya ukuran lebar sepur dan gandar teguh yang digunakan oleh tiap-tiap negara, maka terdapat perbedaan pendekatan dalam penetapan besarnya perlebaran sepur. PT. Kereta Api (persero) dalam PD No.10 menggunakan ukuran-ukuran sebagai berikut (lihat Gambar 7.9):



d = 3 m dan 4 m, f = 30 mm,
r = 1000 mm, t = 130 mm,

Gambar 7.9 Ukuran gandar teguh yang digunakan di Indonesia

Berikut ini disampaikan pendekatan perhitungan perlebaran sepur yang digunakan di Indonesia. Lihat Gambar 7.10. Agar supaya posisi 3 tidak sering terjadi, maka perlu dibuat perlebaran sepur (p) yang ukurannya sedemikian sehingga dapat dicapai posisi 1 atau posisi 2. Pada Gambar 7.10 dapat dilihat bahwa gandar belakang mempunyai posisi radial terhadap pusat lengkung horisontal, sehingga pada waktu roda melintasi lengkung horisontal dapat disederhanakan seperti pada Gambar 7.10.

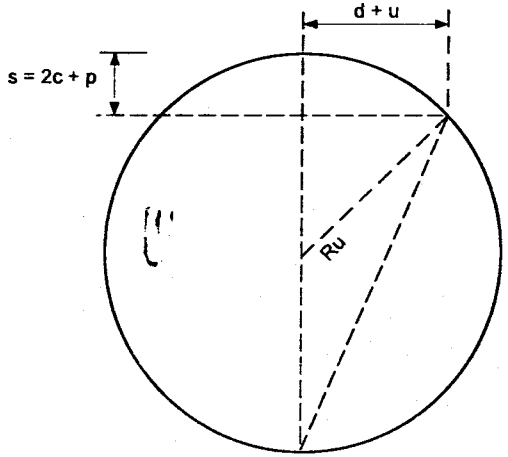


Gambar 7.10 Gandar teguh dan rel pada posisi 2

Keterangan untuk Gambar 7.10 :

u : jarak antara titik sentuh flens roda dengan tengah-tengah gandar,
d : jarak gandar,
c : kelonggaran flens terhadap tepi rel pada sepur lurus,
R : jari-jari lengkung,
p : perlebaan sepur,
Ru : jari-jari lengkung luar.

Dengan penyederhanaan seperti pada Gambar 7.11 dapat diperoleh pendekatan matematis berikut ini.



Gambar 7.11 Penyederhaan posisi roda pada waktu melintasi lengkung

$$(d + u)^2 = R_u^2 - (R_u - s)^2$$

$$(d + u) = 2 \cdot R_u \cdot s - s^2 \qquad (7.13)$$

karena:

a) Nilai s^2 sangat kecil dibandingkan dengan nilai R_u
b) Nilai u sangat kecil dibandingkan dengan nilai d,

maka persamaan 7.13, dapat disederhanakan menjadi:

$$s = \frac{d^2}{2.R_u}$$

atau :

$$2c + p = \frac{d^2}{2.R_u}$$

bila $R_u = R$, maka:

$$p = \frac{d^2}{2.R} - 2.c \qquad (7.14)$$

Pada persamaan 7.14 di atas terlihat bahwa besarnya perlebaran sepur (p) dipengaruhi oleh:

a) jarak gandar depan dan gandar belakang,
b) kelonggaran flens roda kereta terhadap tepi kepala rel pada sepur lurus,
c) jari-jari lengkung horisontal.

Untuk lebar sepur 1067 mm, PT. Kereta Api (persero) menggunakan c = 4 mm. Dengan digunakannya R dalam satuan m, maka apabila jarak gandar depan terhadap gandar belakang (d) = 3 meter (3000 mm), diperoleh:

$$p = \frac{4500}{R} - 8 \qquad (7.15)$$

dan apabila jarak gandar depan terhadap gandar belakang = 4 meter (4000 mm), diperoleh:

$$p = \frac{8000}{R} - 8 \qquad (7.16)$$

dengan:

p : perlebaran sepur (mm),

R : jari-jari lengkung tikungan (m)

Berdasarkan pada persamaan 7.15 dan 7.16 dapat disajikan Tabel 7.3 yang berisi perlebaran sepur untuk beberapa jari-jari lengkung horisontal dan jarak gandar. Mengingat adanya pembatasan perlebaran sepur maksimum, maka *tidak semua angka pada Tabel 7.3 dimaksud dapat digunakan*. Besarnya perlebaran sepur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7.4.

Tabel 7.3 Perlebaran sepur sesuai jari-jari lengkung horisontal

Jari-jari (m)	Perlebaran sepur menurut perhitungan (mm)	
	Jarak gandar = 4 m	Jarak gandar = 3 m
1000	0	
900	0,89	
800	2,00	
750	2,67	
700	3,43	
650	4,31	
600	5,33	
550	6,54	0,20
500	8,00	1,00
450	9,78	2,00
400	12,00	3,25
350	14,86	4,86
300	18,67	7,00
250	24,00	10,00

Catatan : tabel dibuat berdasarkan persamaan 7.15 dan 7.16.

Perlebaran sepur dibuat dengan cara menggeser rel-dalam ke arah dalam (ke arah pusat lengkung). Seperti halnya pada peninggian rel, perlebaran sepur dicapai dan dihilangkan tidak secara mendadak tetapi secara berangsur-angsur sepanjang lengkung transisi (persamaan 7.7) atau "panjang transisi" (persamaan 7.12). Menurut Honing (1975)

pada jalan rel yang tidak menggunakan lengkung transisi, perlebaran sepur dan peninggian rel dilakukan dengan rata melewati suatu jarak (panjang transisi) antara 400 sampai 1000 × peninggian rel.

Pada lengkung horisontal, untuk mengurangi gaya tekan roda kereta/gerbong/lokomotif pada rel luar dan untuk menjaga terhadap bahaya keluarnya roda dari rel (*deraillement*), pada rel-dalam dipasang Rel Penahan (*anti deraillement*). Subarkah (1981) menyatakan bahwa lebar celah antara rel-dalam dan rel penahan ialah sebagai berikut:

a) 65 mm untuk jari-jari lengkung horisontal sebesar 150 meter,

b) 60 mm untuk jari-jari lengkung horisontal sebesar 200 meter.

Konstruksi rel penahan dapat dilihat pada Gambar 7.12.

Agar supaya pada saat roda melewati lengkung horisontal masih terdapat tapak roda yang cukup lebar menapak di atas kepala rel, maka PT. Kereta Api (persero) menggunakan batasan perlebaran sepur maksimum (p_{maks}) ialah 20 mm, sehingga perlebaran sepur sesuai dengan jari-jari lengkung horisontal yang digunakan ialah seperti yang tertuang pada Tabel 7.4.

7.7 KELANDAIAN

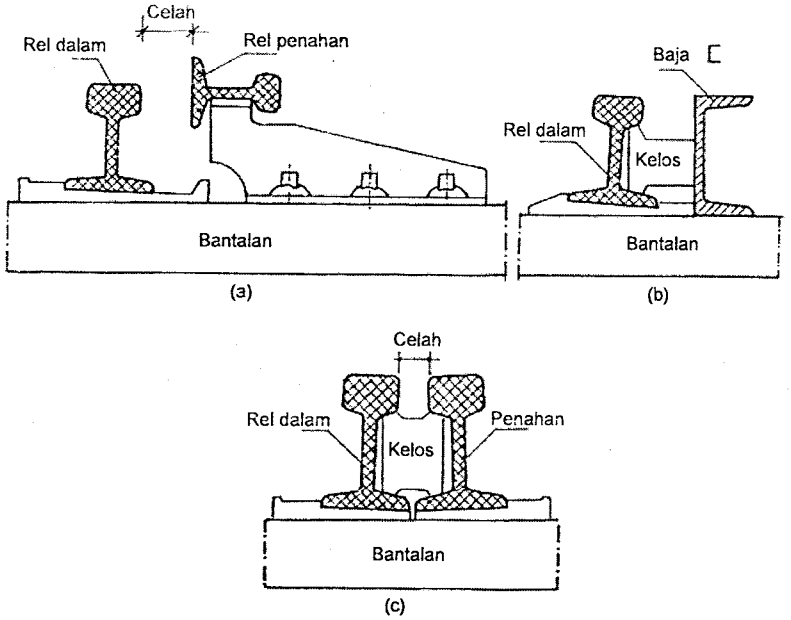
Dalam geometri jalan rel dikenal dua jenis landai, yaitu:

a) landai penentu,

b) landai curam.

Tabel 7.4 Perlebaran sepur yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero)

Jari-jari lengkung horisontal (R), Dalam satuan meter	Perlebaran sepur (mm)	Lebar sepur menjadi (mm)
R > 850	0	1067
550 < R < 850	5	1072
400 < R < 550	10	1077
350 < R < 400	15	1082
100 < R < 350	20	1087



Gambar 7.12 Konstruksi rel penahan

7.7.1 Landai Penentu

Salah satu masalah teknis yang penting dalam perencanaan dan perancangan geometri jalan rel ialah tanjakan. Pada tanjakan yang terjal, dengan menggunakan suatu lokomotif, berat rangkaian kereta api yang dapat dioperasikan lebih kecil dibandingkan dengan pada tanjakan yang landai. Sehingga untuk menentukan geometri yang ekonomis perlu ditetapkan adanya Landai Penentu (*ruling grade*).

Landai penentu (Sp) didefinisikan sebagai kelandaian (tanjakan) terbesar yang ada pada suatu lintas lurus. Besar landai penentu berpengaruh pada daya lokomotif yang digunakan dan berat rangkaian kereta api yang dioperasikan. Besarnya landai penentu tergantung pada kelas jalan relnya seperti yang tertulis pada Tabel 7.5.

7.7.2 Landai Curam

Dalam keadaan tertentu, misalnya pada lintas yang melalui pegunungan, kelandaian (tanjakan) pada suatu lintas lurus kadang

Tabel 7.5. Landai penentu jalan rel

Kelas jalan rel	Landai penentu (°/oo)
I	10
II	10
III	20
IV	25
V	25

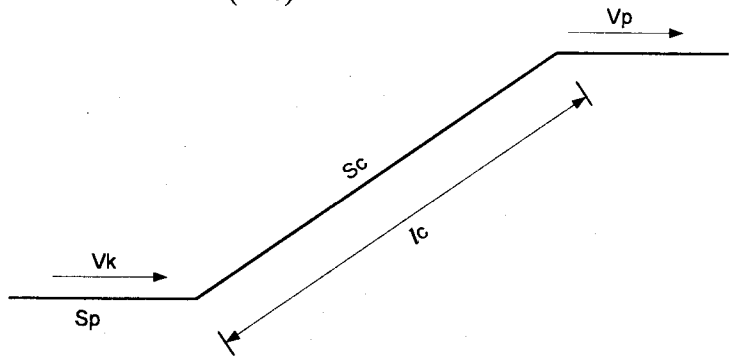
terpaksa melebihi landai penentu. Kelandaian yang melebihi landai penentu tersebut disebut dengan Landai Curam (Sc).

Panjang maksimum landai curam dibatasi dengan persamaan berikut ini (lihat Gambar 7. 13.):

$$lc = \frac{Vk^2 - Vp^2}{2.g.(Sp - Sc)} \qquad (7.17)$$

dengan:

- lc : panjang maksimum landai curam yang diijinkan (meter),
- Vk : kecepatan minimum yang diijinkan di kaki landai curam (m/detik),
- Vp : kecepatan minimum yang dapat diterima di puncak landai curam (m/detik). Dengan ketentuan Vp ≥ 0,5 Vk,
- g : percepatan gravitasi (m/detik^2)
- Sp : landai penentu (°/oo)
- Sc : landai curam (°/oo)



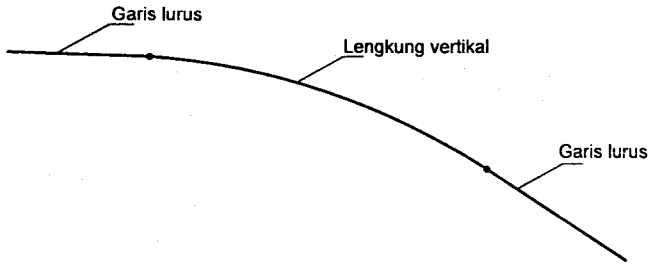
Gambar 7.13 Landai curam

7.8 LENGKUNG VERTIKAL

Alinemen vertikal yang merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel dimaksud, terdiri atas (lihat Gambar 7.14):

a) garis lurus, dengan atau tanpa kelandaian,

b) lengkung vertikal.



Gambar 7.14 Alinemen vertikal

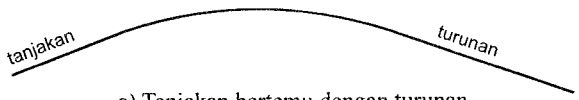
Lengkung vertikal dimaksudkan sebagai lengkung transisi dari suatu kelandaian ke kelandaian berikutnya, sehingga perubahan kelandaiannya akan berangsur-angsur dan beraturan. Selain itu lengkung vertikal juga dimaksudkan untuk memberikan pandangan yang cukup dan keamanan/keselamatan kereta api. Terdapat dua kelompok lengkung vertikal yaitu:

a) Lengkung cembung,

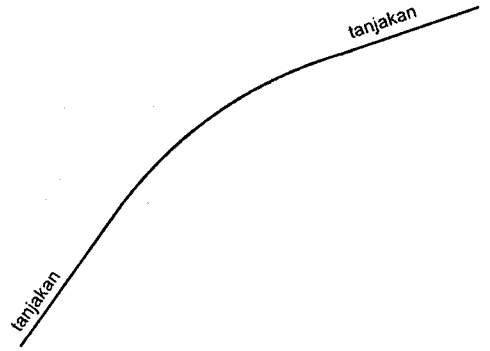
b) Lengkung cekung.

Lengkung Cembung

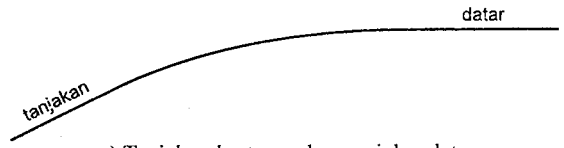
Lengkung cembung ialah lengkung vertikal yang kecembungannya (*convexity*) ke atas (lihat Gambar 7.15). Lengkung vertikal seperti ini di beberapa negara dikenal sebagai *summit curve* atau *spur curve*. Secara umum, pada dasarnya lengkung cembung dibuat pada kondisi tanjakan bertemu dengan turunan, lihat Gambar 7.15 (a), atau tanjakan bertemu dengan tanjakan yang lain dengan kelandaian yang lebih kecil, lihat Gambar 7.15 (b), atau tanjakan bertemu dengan jalan datar, periksa Gambar 7.15 (c).



a) Tanjakan bertemu dengan turunan



b) Tanjakan bertemu dengan tanjakan yang lain dengan kelandaian yang lebih kecil



c) Tanjakan bertemu dengan jalan datar

Gambar 7.15 Lengkung cembung

Pada perubahan dari jalan datar ke suatu turunan yang tidak terdapat lengkung transisi, roda kereta akan melayang melalui suatu bentuk lengkung. Apabila melayangnya roda kereta lebih besar dibandingkan dengan tinggi flens roda kereta api, akan dapat mengakibatkan bahaya besar yaitu roda kereta api ke luar dari rel. Subarkah (1981) memberikan contoh, pada perubahan kelandaian dari jalan datar ke jalan turunan dengan kelandaian 1:40, dengan kecepatan kereta api sebesar 100 km/jam, melayangnya roda kereta api di atas rel ialah 3,125 cm, padahal tinggi flens roda kereta api hanya 2,7 cm, sehingga terdapat bahaya besar yaitu roda dapat ke luar terlepas dari rel. Untuk menghindari terjadinya bahaya roda ke luar dari rel, maka diperlukan adanya lengkung transisi.

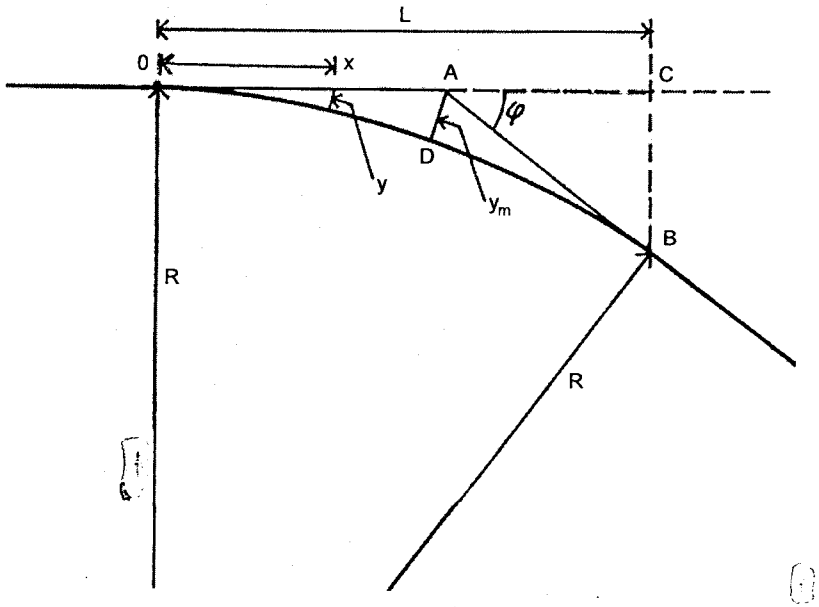
Besarnya jari-jari minimum lengkung vertikal yang berupa lengkung lingkaran tergantung pada kecepatan perancangan. Tabel 7.6

menunjukkan besarnya jari-jari minimum lengkung vertikal sesuai dengan kecepatan perancangannya.

Tabel 7.6 Jari-jari minimum lengkung vertikal

Kecepatan perancangan (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung vertikal (m)
> 100	8000
≤ 100	6000

Lengkung vertikal yang digunakan ialah berbentuk lengkung lingkaran, sehingga dapat dihitung melalui pendekatan berikut ini.



Gambar 7.16 Lengkung vertikal berbentuk lengkung lingkaran

Keterangan untuk Gambar 7.16:

R : jari-jari lengkung vertikal
L : panjang lengkung vertikal
A : titik pertemuan antara perpanjangan kedua landai/garis lurus
φ : perbedaan landai
OA = 0,5 L

Untuk menentukan letak titik A (x_m , y_m) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$x_m = \frac{R}{2}\varphi \qquad (7.18)$$

$$y_m = \frac{R}{8}\varphi^2 \qquad (7.19)$$

Dengan demikian apabila jari-jari lengkung vertikal (R) sudah ditetapkan dan perbedaan landai (φ) dapat dihitung, maka x_m dan y_m dapat dihitung.

Lengkung Cekung

Lengkung cekung ialah lengkung vertikal yang kecekungannya (*concavity*) ke bawah (lihat Gambar 7.17). Lengkung vertikal berbentuk cekung seperti ini di beberapa negara dikenal sebagai *valley curve* atau *sag curve*. Seperti halnya pada lengkung cembung, pada dasarnya lengkung cekung dibuat pada kondisi turunan bertemu dengan tanjakan, atau turunan bertemu dengan turunan yang lain dengan kelandaian yang lebih kecil, atau turunan bertemu dengan jalan datar, seperti yang ditunjukkan secara berturut-turut pada Gambar 7.17.a), 7.17.b) dan Gambar 7.17.c).

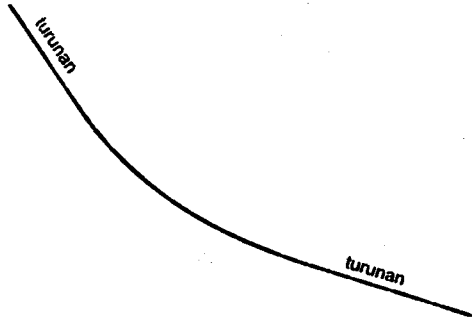
Selain berbentuk lengkung lingkaran, lengkung vertikal dapat juga dibuat dengan bentuk parabola. Panjang lengkung vertikal sebaiknya dalam kelipatan 100 ft (Hay,1982). Apabila lengkung vertikal menggunakan bentuk lengkung parabola, maka panjang lengkung vertikal dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{G_1 - G_2}{r} \qquad (7.20)$$

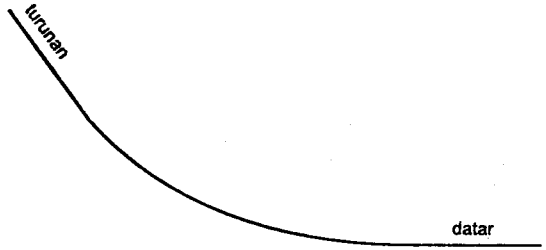
dengan:

G_1 dan G_2 : dua kemiringan yang bertemu, positip (+), bila naik/tanjakan dan negatip (–) bila turun/turunan,
L : panjang lengkung (dalam kelipatan 100 ft),
r : tingkat perubahan kemiringan (dalam persen) tiap 100 ft,

a) Turunan bertemu dengan tanjakan



a) Turunan bertemu dengan turunan yang lain dengan kelandaian yang lebih kecil



a) Turunan bertemu dengan jalan datar

Gambar 7.17 Lengkung cekung

Dalam menggunakan nilai r, Hay (1982) menyatakan bahwa menurut AREA besarnya nilai r (dalam persen) untuk lintas utama direkomendasikan sebagai berikut:

a) untuk lengkung vertikal cembung nilai r digunakan 0,10

b) untuk lengkung vertikal cekung nilai r digunakan 0,05.

Untuk jalan rel sekunder (*secondary track*) dapat digunakan nilai r dua kalinya.

Penggunaan kelipatan 100 ft dalam panjang lengkung tersebut di atas ialah berdasarkan pada kemudahan perhitungan dan pelaksanaan

di lapangan. Vazirani dan Chandola (1981), menggunakan kelipatan panjang 30 meter. Apabila dengan penggunaan nilai r, dan kemiringan (G_1 dan G_2), diperoleh hasil angka ganjil untuk L, maka digunakan angka genap persis di atasnya.

Sebagai contoh pada lintas utama, apabila suatu kemiringan tanjakan (1:120) dan kemiringan turunan (1:150) dihubungkan oleh lengkung vertikal cembung, maka panjang lengkung vertikal dapat dihitung sebagai berikut:

Kemiringan tanjakan (G_1) 1:120 = 0,83 % (positip)

Kemiringan turunan (G_2) 1:150 = 0,67 % (negatip)

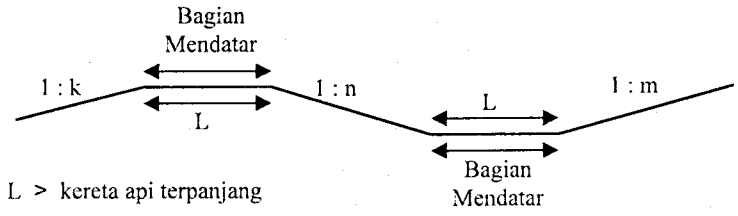
r digunakan 0,1%, maka:

$$L = \frac{0{,}83 - (-0{,}67)}{0{,}10}$$

$$L = \frac{1{,}5}{0{,}10}$$

diperoleh L = 15 ➔ digunakan L = 16, sehingga panjang lengkung vertikal digunakan 16 x 100 ft = 1600 ft, atau 16 x 30 meter = 480 meter.

Subarkah (1981) menyatakan bahwa apabila suatu tanjakan diikuti oleh turunan atau sebaliknya yaitu turunan diikuti oleh tanjakan, di antara lengkung vertikal yang merupakan lengkung transisi harus dibuat "Bagian Mendatar" yang panjangnya tidak boleh kurang dari kereta api terpanjang yang melalui jalan rel tersebut, seperti yang tergambar pada Gambar 7.18.



Gambar 7.18 Bagian mendatar di antara lengkung vertikal

Pentingnya dibuat bagian mendatar yang panjangnya tidak boleh kurang dari kereta api terpanjang yang melalui jalan rel juga disampaikan oleh Honing (1975).

Selain hal tersebut di atas perlu diperhatikan juga bahwa pada perencanaan dan perancangan jalan rel, letak lengkung vertikal harus diusahakan tidak berimpit dengan lengkung horisontal.

Bab VIII

WESEL DAN PERSILANGAN

8.1 PENGANTAR

Pada Bab I (Tabel 1.2) telah disebutkan bahwa pada jalan rel perpindahan jalur dilakukan melalui peralatan khusus yang dikenal sebagai wesel. Apabila dua jalan rel yang terletak pada satu bidang saling memotong maka pada tempat perpotongan tersebut diperlukan adanya persilangan. Dengan adanya wesel dan persilangan di emplasemen (lihat uraian tentang Emplasemen), memungkinkan dan memudahkan penataan rangkaian kereta api. Pada persilangan sebidang antara jalan rel dan jalan raya perlu adanya perencanaan persilangan yang aman. Pada persilangan dimaksud perancangan struktur persilangan harus sedemikian sehingga dapat dilewati oleh kereta api dan kendaraan jalan raya secara aman dan cukup nyaman.

8.2 WESEL

Wesel merupakan penghubung antara dua jalan rel dan berfungsi untuk mengalihkan/mengantarkan kereta api dari suatu sepur ke sepur yang lain.

8.2.1 Jenis Wesel

Terdapat empat jenis wesel, yaitu:

a) wesel biasa,
b) wesel dalam lengkung,
c) wesel tiga jalan, dan
d) wesel Inggris.

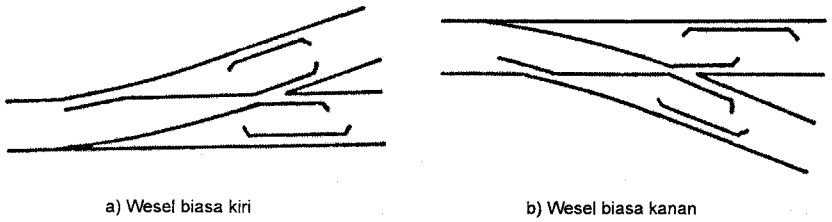
Uraian mengenai wesel biasa, wesel dalam lengkung dan wesel tiga jalan akan disampaikan pada uraian mengenai wesel ini, sedangkan uraian tentang wesel Inggris akan disampaikan pada sub-bab 8.3.

Wesel biasa terdiri atas sepur lurus dan sepur belok yang membentuk sudut terhadap sepur lurus. Menurut arah belok sepur beloknya terdapat dua jenis wesel biasa, yaitu:

a) wesel biasa kiri,

b) wesel biasa kanan.

Skema sederhana kedua wesel tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.1. Disebut wesel biasa kiri apabila arah belok sepur beloknya ke kiri dilihat dari depan wesel (Gambar 8.1.a), disebut wesel biasa kanan apabila arah belok sepur beloknya ke kanan dilihat dari depan wesel (Gambar 8.1.b).



a) Wesel biasa kiri b) Wesel biasa kanan

Gambar 8.1 Wesel biasa

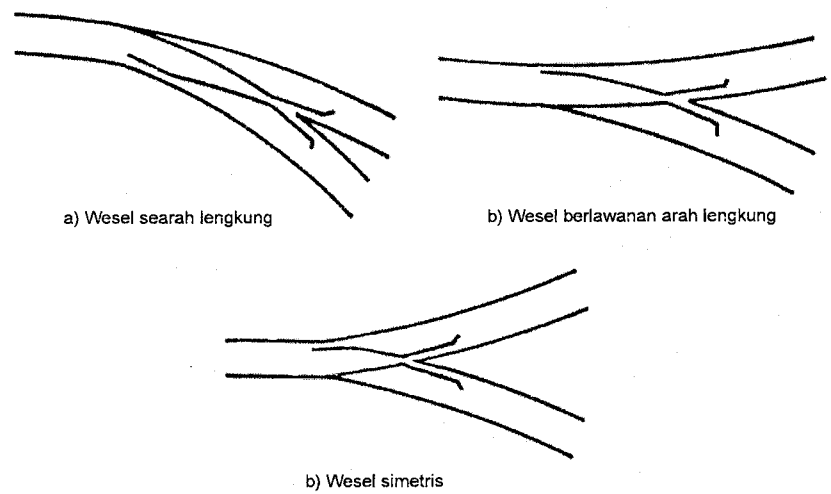
Wesel Dalam Lengkung pada dasarnya ialah seperti wesel biasa, tetapi "sepur lurus"nya (lihat wesel biasa) berbentuk lengkung (disebut sebagai sepur lengkung), sehingga dapat dikatakan bahwa wesel dalam lengkung terdiri atas sepur lengkung dan sepur belok yang membentuk sudut terhadap sepur lengkung. Berdasar pada arah sepur beloknya, terdapat tiga jenis wesel dalam lengkung, yaitu:

a) wesel searah lengkung,

b) wesel berlawanan arah lengkung, dan

c) wesel simetris.

Skema sederhana wesel dalam lengkung dapat dilihat pada Gambar 8.2. Pada wesel searah lengkung, arah sepur belok dan sepur lengkung sama (Gambar 8.2.a). Pada wesel berlawanan arah lengkung, arah sepur belok berlawanan terhadap arah sepur lengkung (Gambar 8.2.b). Apabila sepur belok simetri terhadap sepur lengkung disebut sebagai wesel simetri (Gambar 8.2.c).



a) Wesel searah lengkung b) Wesel berlawanan arah lengkung

b) Wesel simetris

Gambar 8.2 Wesel dalam lengkung

Wesel tiga jalan terdiri atas tiga sepur (lihat Gambar 8.3). Berdasar atas arah dan letak sepurnya terdapat empat jenis wesel tiga jalan, yaitu:

a) wesel tiga jalan searah (Gambar 8.3.a),

b) wesel tiga jalan berlawanan arah (Gambar 8.3.b),

c) wesel tiga jalan searah tergeser (Gambar 8.3.c), dan

d) wesel tiga jalan berlawanan arah tergeser (Gambar 8.3.d).

Dalam penggunaannya sering ditemui beberapa bentuk wesel yang merupakan kombinasi dari bentuk-bentuk dasar wesel yang ada. Pada Gambar 8.4 disampaikan beberapa contoh gambar (dengan garis tunggal) kombinasi wesel yang digunakan.

8.2.2 Komponen Wesel

Agar supaya wesel dapat berfungsi seperti yang seharusnya, wesel terdiri atas komponen-komponen wesel sebagai berikut:

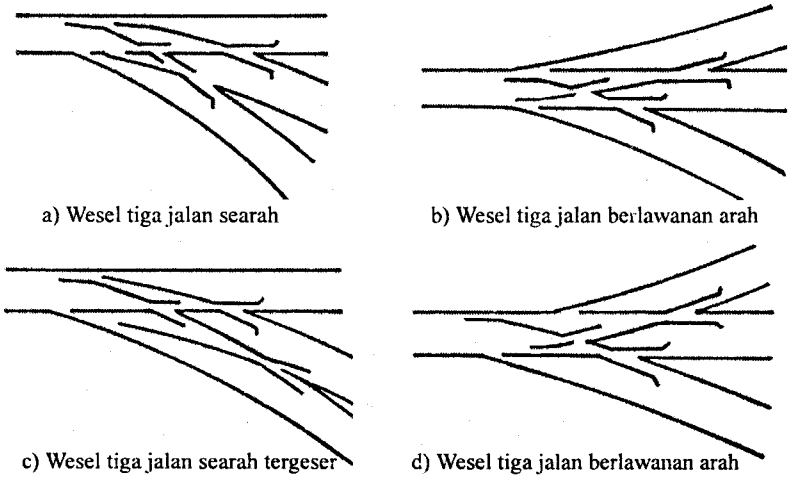
a) lidah,

b) jarum beserta sayap,

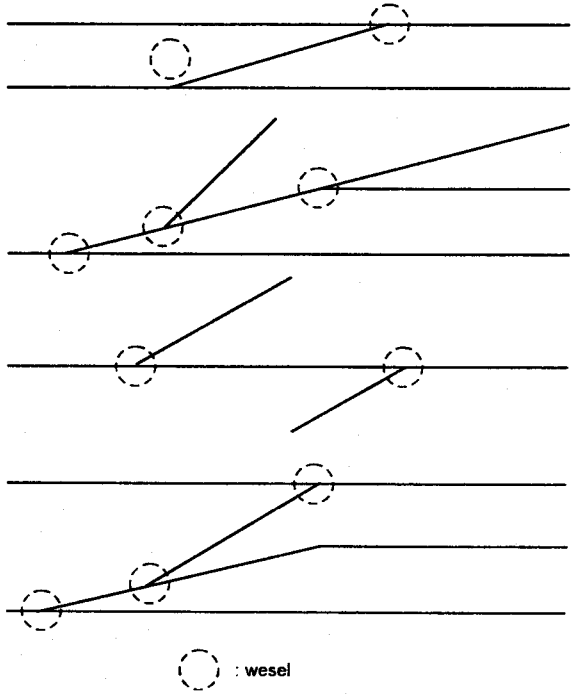
c) rel lantak,

d) rel paksa, dan

e) penggerak wesel.

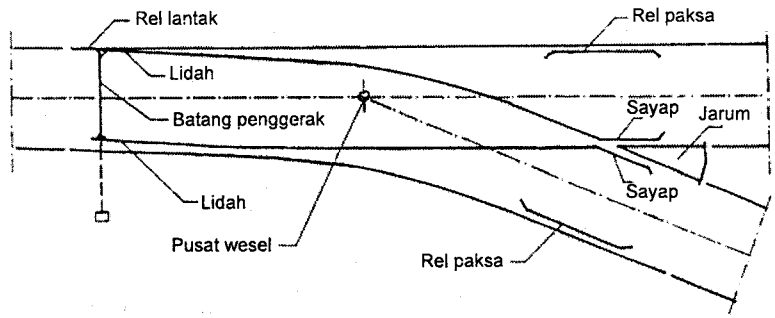


Gambar 8.3 Wesel tiga jalan



Gambar 8.4 Beberapa kombinasi wesel

Wesel dan komponen wesel dapat dilihat pada Gambar 8.5. Perpotongan antara sumbu-sumbu jalan rel (lurus dan belok) disebut Titik Pusat Wesel.



Gambar 8.5 Gambar Wesel

Masing-masing komponen wesel dijelaskan pada uraian berikut.

Lidah

Wesel mempunyai komponen yang dapat bergerak yang disebut dengan lidah. Lidah mempunyai bagian pangkal yang disebut Akar Lidah. Terdapat dua jenis lidah, yaitu:

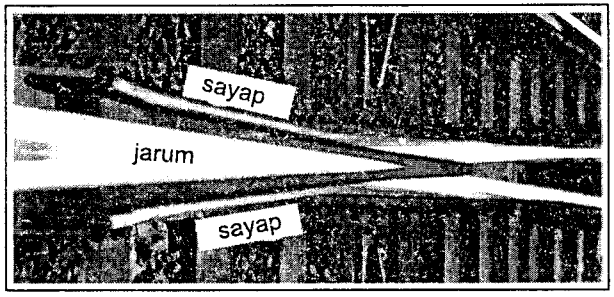
a) lidah berputar. Pada jenis ini lidah mempunyai engsel di akar-lidahnya,

b) lidah berpegas. Pada jenis ini akar-lidah dijepit sehingga dapat melentur.

Baik pada lidah berputar maupun lidah berpegas, ujung lidah dapat digeser untuk menempel dan menekan pada rel lantak sehingga dapat mengarahkan jalannya kereta api, yaitu dari rel lurus ke rel lurus atau dari rel lurus ke rel bengkok atau dari rel bengkok ke rel lurus. Ujung lidah membentuk sudut yang kecil terhadap rel lantak, disebut Sudut Tumpu (β). Sudut tumpu dinyatakan dengan tangen, yaitu tangen $\beta = 1 : m$, dengan m antara 25 sampai 100. Lidah A biasanya sebagian lurus selanjutnya bengkok, sedangkan lidah B lurus (lihat Gambar 8.5). Kedua lidah dihubungkan sesamanya dengan sebatang besi.

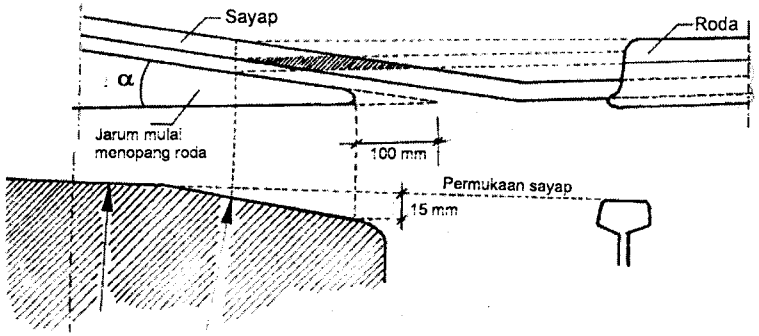
Jarum dan sayap

Untuk memberikan kemungkinan flens roda kereta api berjalan melalui perpotongan rel-dalam wesel dipasang jarum beserta sayapnya. Konstruksi selengkapnya ialah satu buah jarum dan dua buah sayap (lihat Gambar 8.6). Sudut lancip jarum (α) yang besarnya sama dengan sudut yang dibentuk oleh sepur lurus dan sepur belok disebut Sudut Simpang Arah. Sambungan antara jarum dengan kedua rel dalam atau sisi belakang jarum disebut Akhir Wesel.



Gambar 8.6 Jarum beserta sayapnya

Agar supaya flens roda dapat lewat maka rel di depan ujung jarum harus terputus. Kemungkinan turunnya roda ke arah bawah pada saat roda berada di atas terputusnya rel tersebut dicegah oleh sayap. Dengan adanya sayap ini maka roda saat berada di atas celah tempat terputusnya rel disangga oleh sayap, baru apabila lebar jarum sudah 30 mm roda akan disangga oleh jarum (lihat Gambar 8.7).



Gambar 8.7 Jarum, sayap dan kedudukan roda

Kemungkinan tertabraknya ujung jarum oleh flens roda kereta api diatasi dengan :

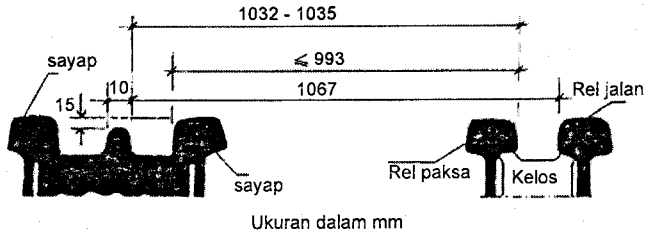
a) ujung jarum dibuat lebih rendah dibandingkan dengan permukaan atas rel,

b) menetapkan jarak antara rel paksa dengan jarum.

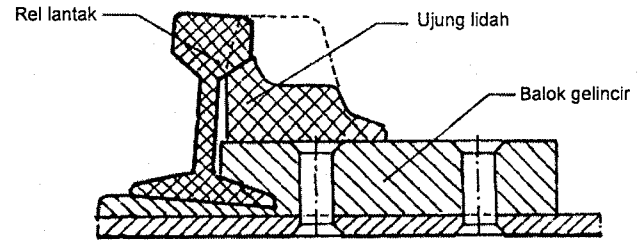
Gambar 8.8 menunjukkan perbedaan ketinggian antara permukaan atas ujung jarum dengan permukaan atas rel dan jarak antara rel dengan rel paksa, serta antara rel paksa dengan ujung jarum, untuk lebar sepur 1067 mm.

Rel Lantak

Agar supaya wesel dapat mengarahkan kereta api pada jalan rel yang dikehendaki maka lidah harus menempel dan menekan rel lantak. Potongan melintang rel lantak dan menempelnya lidah pada rel lantak dapat dilihat pada Gambar 8.9. Kira-kira 100 cm di depan ujung lidah, rel-rel lantak disambung dengan penyambung rel seperti pada sambungan rel biasa. Sambungan ini disebut sebagai Awal Wesel.



Gambar 8.8 Rel, rel paksa, sayap dan jarum beserta jaraknya



Gambar 8.9 Potongan melintang rel lantak dan lidah

Rel Paksa

Rel paksa dipasang berhadapan dengan jarum (dan sayapnya). Pada saat roda berada di ujung jarum, di atas terputusnya rel (lihat Jarum dan Sayapnya), kemungkinan ke luarnya roda ke arah mendatar dicegah dengan rel paksa. Dengan demikian nama "rel paksa" lebih mengarah pada kemampuan rel dimaksud untuk memaksa roda kereta api tidak ke luar ke arah mendatar. Karena kegunaan rel paksa yang seperti tersebut di atas maka letak rel paksa ialah berhadapan dengan ujung jarum tempat terputusnya rel berada.

Penggerak wesel

Gerakan menggeser lidah dilakukan dengan menggunakan batang penarik. Kedua lidah bergerak di atas Pelat Gelincir atau Balok Gelincir yang dipasang secara kuat di atas bantalan-bantalan wesel.

8.2.3 Panjang Wesel

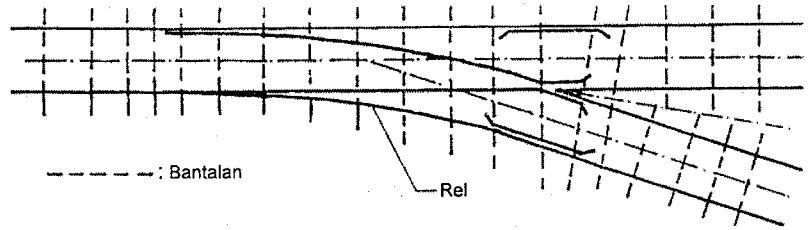
Panjang wesel dihitung dari Awal Wesel hingga Akhir Wesel. Panjang wesel sebaiknya merupakan kelipatan dari panjang rel (termasuk celah sambungan rel), sehingga akan memudahkan pemasangan wesel ke dalam sepur yang telah ada tanpa harus melakukan pemotongan rel pada sepur yang telah ada.

8.2.4 Bantalan pada Wesel

Pada sepur lurus hingga jarum, bantalan dipasang tegak lurus sepur, sesudah jarum bantalan dipasang tegak lurus garis bagi sudut simpang arah; pemasangan bantalan tegak lurus garis bagi sudut simpang arah ini hanya sampai pada batas dimulainya pemasangan bantalan biasa (lihat Gambar 8.10). Jarak bantalan tidak boleh lebih besar dibandingkan jarak bantalan biasa. Panjang bantalan wesel ialah sedemikian sehingga paling sedikit hingga 50 cm di luar rel. Pada bagian-bagian penting yaitu ujung lidah, jarum dan sayapnya, bantalan harus baik dan kokoh kedudukannya.

Bantalan untuk wesel dapat dari jenis bantalan kayu atau bantalan baja. Apabila digunakan bantalan baja, lubang-lubang untuk pemasangan penambat rel dibuat di pabrik atau di tempat pembuatannya. Sebelum dikirim ke tempat pemasangan, biasanya seluruh wesel

lengkap sudah dirakit di pabrik/tempat pembuatan, sehingga pemasangan di lapangan menjadi cepat dan praktis. Sedangkan untuk bantalan kayu, perakitan wesel (termasuk pembuatan lubang untuk pemasangan penambat rel dan pemasangan penambat relnya) dilakukan setelah semua rel pada wesel terpasang lengkap, sehingga waktu perakitan di lapangan menjadi lebih panjang.



Gambar 8.10 Bantalan pada wesel

8.2.5 Rel dan Geometri pada Wesel

Agar supaya konstruksi wesel tidak sulit, maka rel pada wesel tidak diletakkan secara miring tetapi vertikal. Pada lengkung wesel juga tidak diberi peninggian rel, hal ini dengan pertimbangan bahwa selain agar konstruksi weselnya tidak sulit juga karena kecepatan kereta api yang melewati wesel relatif tidak besar.

Perlebaran sepur pada lengkung jalan rel tetap diperlukan pada lengkung wesel sesuai dengan ketentuan yang digunakan (lihat Geometri Jalan Rel). Perlebaran sepur dan lengkung dibuat sebagai berikut:

a) perlebaran sepur pada lengkung wesel dimulai dari kira-kira 250 mm di depan ujung lidah (agar tidak timbul kejutan arah horizontal sewaktu kereta api berjalan ke arah sepur bengkok),
b) di ujung lidah perlebaran dibuat 5 – 10 mm,
c) di dalam lengkung dapat digunakan perlebaran sepur maksimum (lihat Geometri Jalan Rel),
d) lengkung wesel dimulai dari kira-kira 500 mm di belakang akar lidah (agar supaya akar lidah tidak menerima tekanan horizontal akibat pergantian arah dari lurus menuju ke sepur belok),

e) sekitar 1500 – 2500 mm di depan ujung jarum merupakan bagian yang lurus. Hal ini untuk menjaga agar supaya roda kereta api sewaktu melintasi jarum sudah berjalan lurus,

f) jari-jari lengkung wesel biasanya dibuat antara 150 hingga 230 meter.

8.2.6 Kecepatan Ijin dan Sudut Simpang Arah

Kecepatan yang diijinkan saat kereta api melewati wesel tergantung pada sudut simpang arah weselnya. Untuk memudahkan dalam komunikasi teknik digunakan istilah Nomor Wesel. Tangen sudut simpang arah (α), nomor wesel dan kecepatan ijin dapat dilihat pada Tabel 8.1.

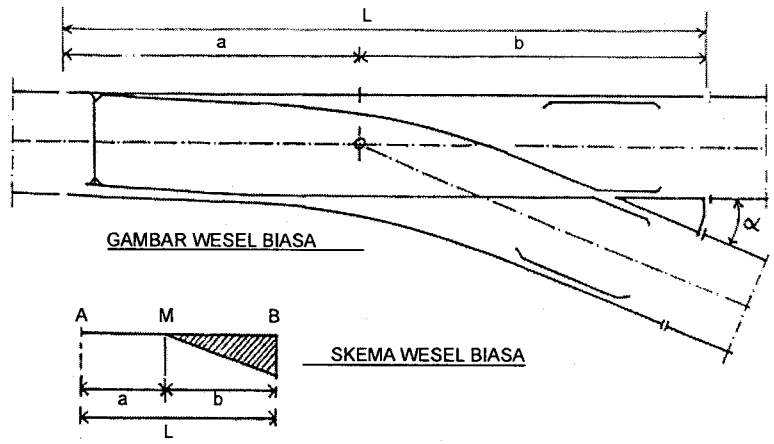
Tabel 8.1 Tangen sudut simpang arah, nomor wesel dan kecepatan ijin

tg. α	1 : 8	1 : 10	1 : 12	1 : 14	1 : 16	1 : 18
Nomor Wesel	W 8	W 10	W 12	W 14	W 16	W 20
Kecepatan ijin (km/jam)	25	35	45	50	60	70

8.2.7 Skema Wesel

Dalam gambar rencana emplasemen, sepur dan wesel digambar dengan garis tunggal. Agar supaya panjang wesel pada gambar dimaksud dapat mudah diketahui, wesel digambar dengan Skema Wesel. Skema wesel menggambarkan ukuran wesel sehingga dapat digunakan untuk menggambar skema emplasemen secara berskala. Gambar 8.11 menunjukkan gambar wesel dan skema wesel dari wesel biasa.

Gambar 8.12 menunjukkan gambar wesel dan skema weselnya untuk wesel searah tergeser.



Gambar 8.11 Gambar wesel biasa dan skema wesel biasa

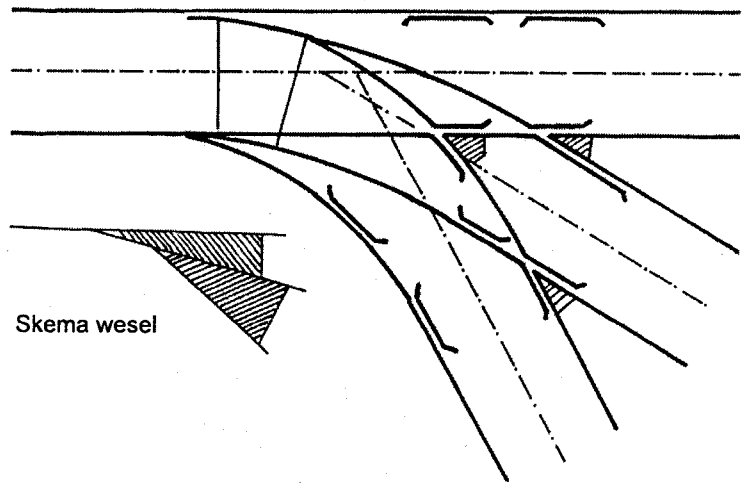
Keterangan Gambar 8.11:

M : titik pusat wesel, yaitu titik potong antara sumbu sepur lurus dengan sumbu sepur belok,

A : awal wesel, yaitu tempat sambungan rel lantak dengan rel biasa,

B : akhir wesel,

1 : n ialah tangen sudut simpang arah



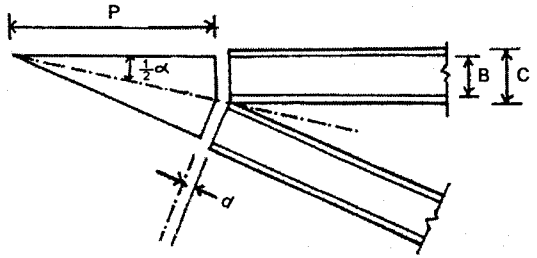
Gambar 8.12 Wesel searah tergeser

8.2.8 Perancangan Wesel

Perancangan wesel pada suatu tempat yang memerlukannya meliputi hal-hal berikut:

a) kecepatan kereta, sudut tumpu (β) dan sudut simpang arah (α),
b) panjang jarum,
c) panjang lidah, dan
d) jari-jari lengkung.

Panjang jarum pada wesel tergantung pada lebar kepala rel, lebar kaki rel, besarnya celah antara jarum dan rel dan sudut simpang arah, dalam hubungan sebagai berikut (lihat Gambar 8.13):



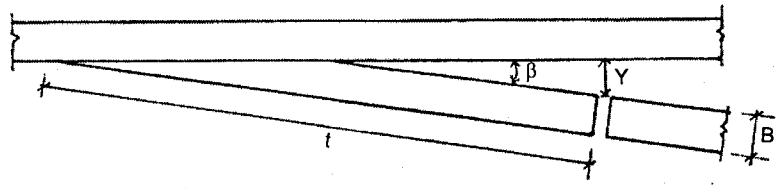
$$P = \frac{(B+C)}{2\,tg\,(\alpha/2)} - d \qquad (8.1)$$

Gambar 8.13 Panjang jarum

dengan :

P : panjang jarum,
B : lebar kepala rel,
C : lebar kaki rel,
α : sudut simpang arah,
d : celah antara jarum dan ujung rel (celah jarum).

Penentuan panjang lidah tergantung pada jenis lidah. Telah diuraikan di depan bahwa pada wesel terdapat dua jenis lidah, yaitu lidah berputar dan lidah berpegas. Pada lidah berputar, panjang lidah tergantung pada besarnya sudut tumpu, lebar kepala rel dan jarak antara akar lidah dan rel lantak. Panjang lidah pada lidah berputar dapat ditentukan dengan hubungan sebagai berikut (periksa Gambar 8.14):



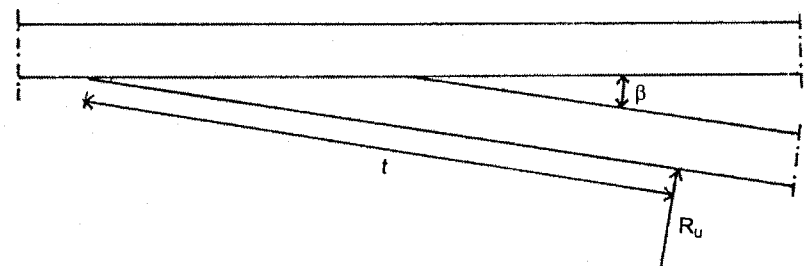
$$t > \frac{B+Y}{\sin\beta} \qquad (8.2)$$

Gambar 8.14 Panjang lidah pada lidah berputar

Keterangan Gambar 8.14:

t : panjang lidah,
B : lebar kepala rel,
Y : jarak antara akar lidah dan rel lantak,
β : sudut tumpu.

Panjang lidah pada lidah berpegas dapat ditentukan dengan persamaan 8.3 berikut ini:



$$t > B\,\text{cotg}\,\beta \qquad (8.3)$$

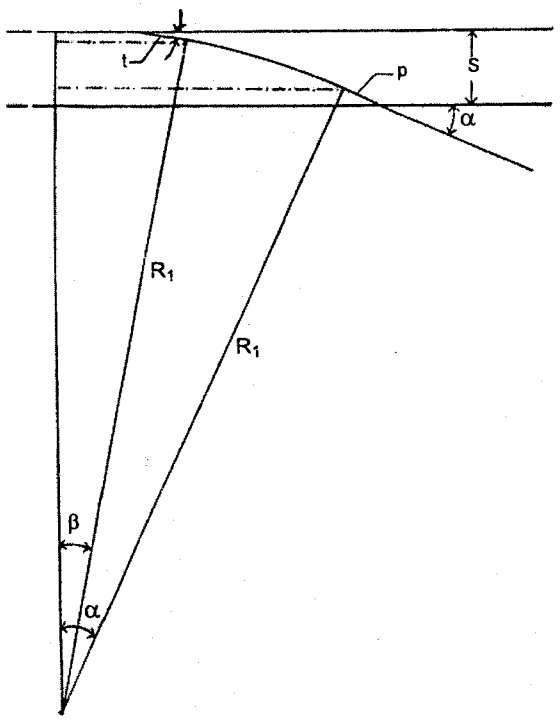
Gambar 8.15 Panjang lidah pada lidah berpegas

Keterangan Gambar 8.15:

t : panjang lidah
B : lebar kepala rel,
β : sudut tumpu

Terdapat dua jari-jari pada lengkung wesel, yaitu jari-jari lengkung luar dan jari-jari lengkung dalam. Besarnya jari-jari lengkung luar dipengaruhi oleh lebar sepur, sudut tumpu, sudut simpang arah,

panjang lidah dan panjang jarum, dengan persamaan sebagai berikut (lihat Gambar 8.16):



$$R_1 = \frac{S - t\sin\beta - P\sin\alpha}{\cos\beta - \cos\alpha} \qquad (8.4)$$

Gambar 8.16 Jari-jari lengkung luar

Keterangan Gambar 8.16:

R_l	: jari-jari lengkung luar,	P	: panjang jarum,
S	: lebar sepur,	β	: sudut tumpu,
t	: panjang lidah,	α	: sudut simpang arah.

Dengan batasan bahwa besarnya jari-jari lengkung luar tidak boleh lebih dari besarnya jari-jari yang dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$R = \frac{V^2}{7{,}8} \qquad (8.5)$$

dengan:

R : jari-jari lengkung luar,
V : kecepatan ijin pada wesel (dalam km/jam)

Besarnya jari-jari lengkung dalam (R_d) ditentukan berdasarkan atas jari-jari lengkung luar (R_l) dengan memperhitungkan perlunya pelebaran sepur.

8.3 PERSILANGAN

Apabila dua jalan rel dari dua arah yang terletak pada satu bidang saling berpotongan, di tempat perpotongan tersebut harus dibuat suatu konstruksi yang memungkinkan roda (dan flensnya) dapat lewat ke kedua arah dimaksud. Konstruksi dimaksud disebut dengan *Persilangan*. Berdasar atas sudut perpotongannya, terdapat dua jenis persilangan, yaitu:

a) persilangan siku-siku, yaitu apabila sudut perpotongannya 90°.
b) persilangan miring, yaitu apabila sudut perpotongannya kurang dari 90°.

Persilangan miring dibagi menjadi dua, yaitu:

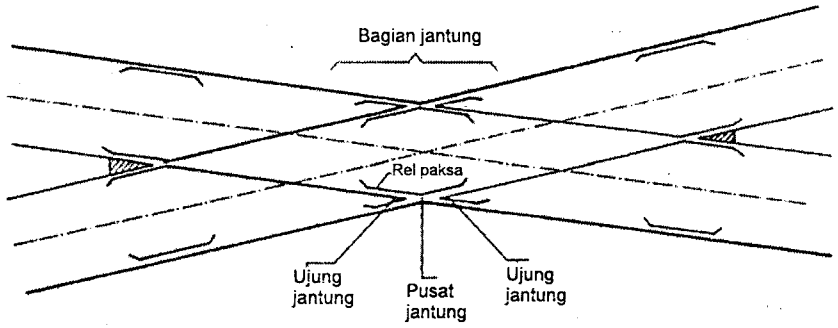
a) persilangan tajam, yaitu apabila sudut perpotongannya kurang dari 40°,
b) persilangan tumpul, yaitu apabila sudut perpotongannya lebih dari 40^o.

Pembagian persilangan tersebut di atas berhubungan dengan konstruksinya, seperti yang diuraikan berikut.

8.3.1 Persilangan Tajam

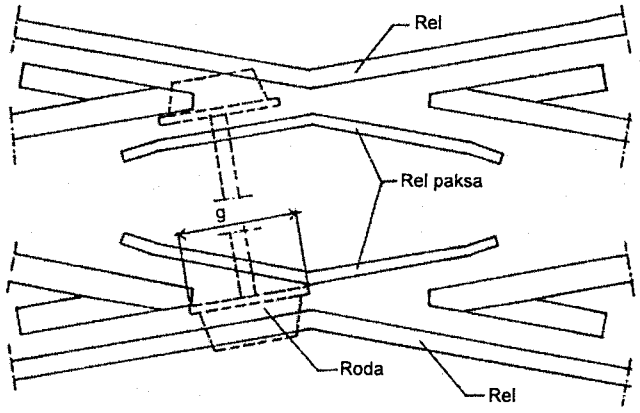
Gambar 8.17 memperlihatkan bentuk persilangan tajam. Pada persilangan tajam terdapat dua jarum dan dua jantung. Jantung terdiri atas:

a) satu pusat jantung,
b) dua ujung jantung, dan
c) satu rel paksa.



Gambar 8.17 Persilangan tajam

Penempatan dan bentuk jarum sama seperti pada wesel, sedangkan bagian jantung ialah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.18.



Gambar 8.18 Gambar bagian jantung

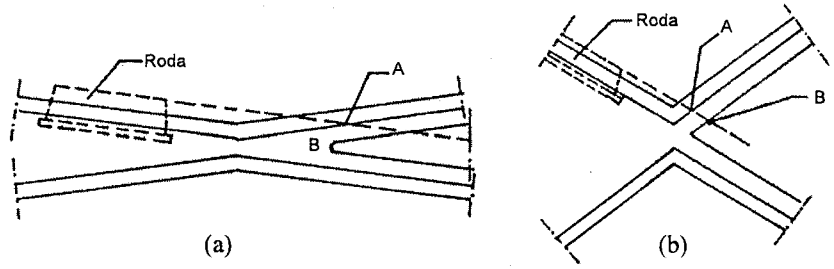
Sebagai penghantar roda pada waktu melewati bagian yang terputus, digunakan rel pemaksa. Pada Gambar 8.18 dapat dilihat bahwa roda dihantar melalui jarak g. Apabila terputusnya jalan rel masih lebih pendek dari g, maka roda masih dapat dihantarkan.

8.3.2 Persilangan Tumpul dan Persilangan Siku-siku

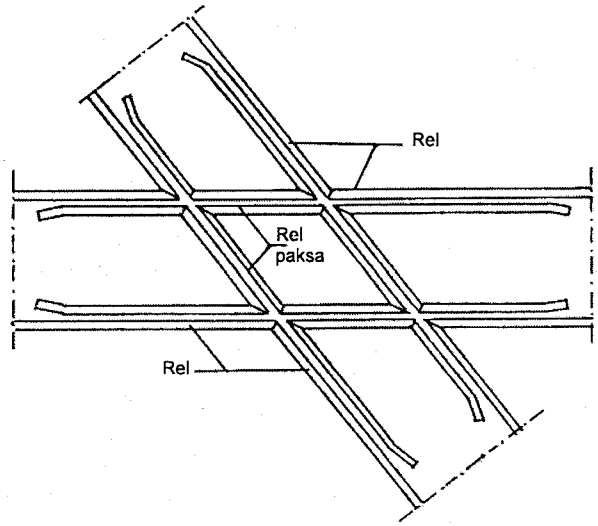
Pada persilangan tajam (lihat Gambar 8.19.a), titik A tempat kasut roda meninggalkan rel (yang kemudian diterima oleh jarum) masih terletak di belakang titik B (titik tempat jarum mulai mendukung

roda). Dengan demikian maka selama roda melewati rel yang "terputus" dimaksud, roda tetap tertopang. Tetapi pada persilangan tumpul dan siku-siku (lihat Gambar 8.19.b) titik A terletak di depan titik B, sehingga selama roda melewati rel yang "terputus" kasut roda tidak tertopang. Batas besarnya sudut yang mengakibatkan terjadinya kondisi seperti pada Gambar 8.19.a dan Gambar 8.19.b ialah 40°. Sehingga batas antara persilangan tajam dan persilangan tumpul ialah sudut sebesar 40° tersebut.

Persilangan tumpul dan siku-siku seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.20.



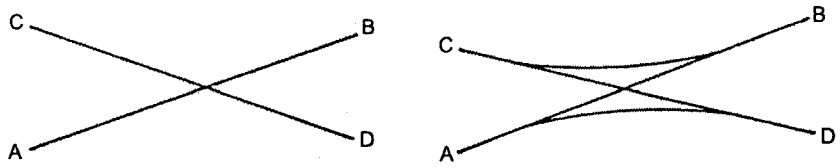
Gambar 8.19 Tumpuan roda pada persilangan



Gambar 8.20 Persilangan tumpul

8.4 WESEL INGGRIS

Pada suatu persilangan, kereta api hanya dapat berjalan pada sepur lurus (lihat Gambar 8.21.a) yaitu dari A ke B atau sebaliknya, atau dari C ke D atau sebaliknya. Dengan lidah-lidah dapat dibuat sepur belok, sehingga memungkinkan kereta api berjalan juga dari A ke D atau sebaliknya, atau dari B ke C atau sebaliknya (lihat Gambar 8.21.b). Konstruksi seperti tersebut dikenal sebagai Wesel Inggris. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa wesel Inggris ialah kombinasi antara suatu persilangan dengan sebuah wesel. Seperti halnya pada wesel biasa, untuk memungkinkan kereta api berjalan dari A ke D atau dari B ke C, sudut persilangannya harus kecil, yang dalam hal ini biasanya digunakan sudut persilangan 1 : 10.



a) Persilangan b) Wesel Inggris

Gambar 8.21 Persilangan dan Wesel Inggris

Sesuai dengan fungsi dan kemampuannya sebagai persilangan dan wesel untuk perpindahan jalur, terdapat dua jenis wesel Inggris, yaitu:

a) wesel Inggris penuh,
b) wesel Inggris setengah.

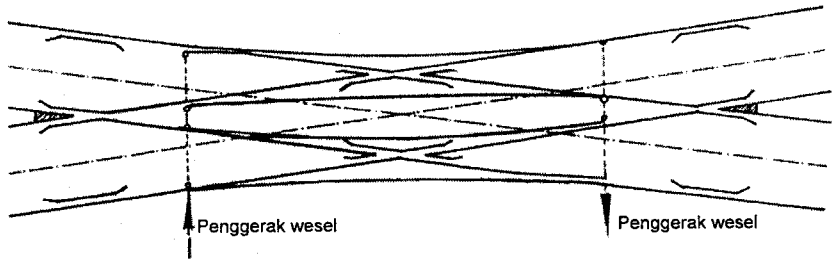
Bentuk dan komponen wesel Inggris tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 8.22 dan Gambar 8.23, serta penjelasan berikut.

8.4.1 Wesel Inggris Penuh

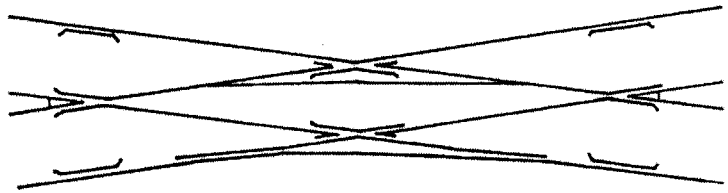
Pada wesel Inggris penuh terdapat komponen-komponen sebagai berikut:

a) empat pasang lidah,
b) dua rel bengkok,
c) dua buah jarum, masing-masing dengan rel paksa, dan
d) dua buah jantung.

Gambar 8.22 memperlihatkan gambar wesel Inggris penuh. Pada wesel Inggris penuh, konstruksi lidah dan jarum ialah seperti pada wesel biasa, sedangkan konstruksi jantung sama dengan konstruksi jantung pada persilangan tajam.



Gambar 8.22 Wesel Inggris Penuh



Gambar 8.23 Wesel Inggris Setengah

8.4.2 Wesel Inggris Setengah

Apabila sepur belok hanya terdapat pada satu sisi, maka wesel seperti tersebut dinamakan wesel Inggris setengah. Pada wesel Inggris setengah hanya terdapat dua pasang lidah. Gambar wesel Inggris setengah dapat dilihat pada Gambar 8.23.

8.5 PERSILANGAN ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN RAYA

Persilangan antara jalan rel dan jalan raya dikenal pula dengan istilah Perlintasan. Uraian yang akan disampaikan pada sub-bab ini ialah yang berkaitan dengan persilangan sebidang antara jalan rel dan jalan raya.

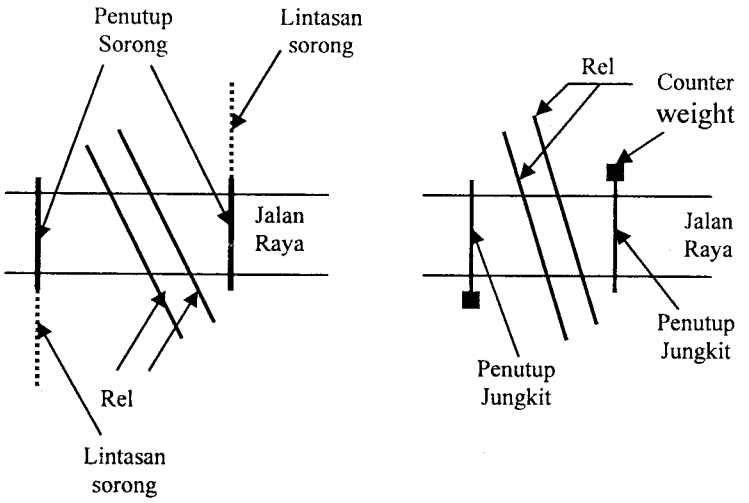
Terdapat dua kelompok jenis persilangan dengan jalan raya, yaitu:

a) persilangan/perlintasan dengan penutup/palang,

b) persilangan/perlintasan tanpa penutup/palang.

8.5.1 Persilangan dengan Penutup

Pada persilangan dengan penutup, penutupnya dapat berupa penutup sorong atau penutup jungkit (lihat Gambar 8.24). Penutup sorong digerakkan sejajar dengan sumbu jalan rel yang terdiri atas "pagar" dengan roda-roda kecil. Penutup jungkit terdiri atas batang yang salah satu ujungnya dapat berputar pada suatu sumbu horizontal; untuk memperkecil gaya yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup maka ujung yang dapat berputar tersebut diperpanjang dan diberi suatu beban kontra (*counter weight*).



Gambar 8.24 Persilangan dengan penutup

Pada persilangan tanpa penutup perlu dilakukan perancangan geometri persilangan yang aman. Sumber yang sering digunakan dalam perencanaan geometri persilangan tanpa penutup tersebut ialah *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1984* (Bab IX), dari *AASHTO.*

8.5.2 Persilangan tanpa Penutup

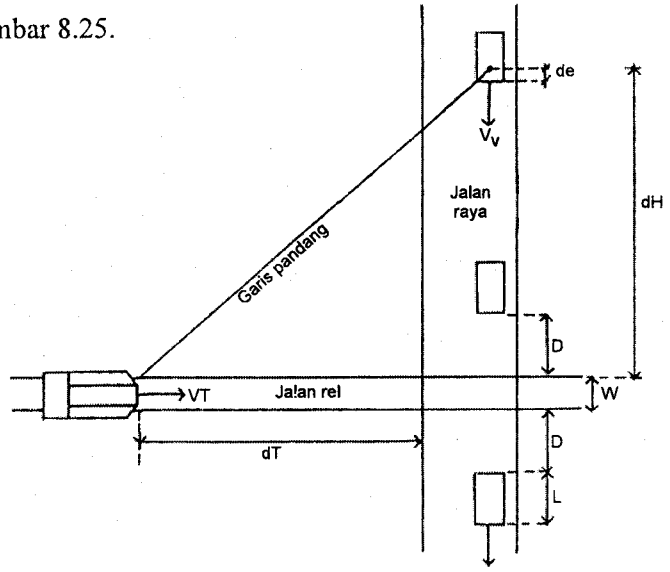
Pada persilangan atau perlintasan tanpa penutup tersebut harus tersedia daerah pandangan bebas yang memadai baik bagi pengemudi kendaraan di jalan raya maupun bagi masinis kereta api. Persyaratan ketersediaan daerah pandang bebas tersebut mengakibatkan daerah pandangan bebas dimaksud berbentuk segitiga. Persilangan yang paling baik antara jalan rel dan jalan raya ialah persilangan siku-siku. Kondisi terjelek yang mungkin terjadi ialah tidak ada rambu atau tanda yang memberitahu bahwa kereta api akan melewati persilangan dengan jalan raya, oleh karena itu perancangan jarak pandangan bebasnya berdasar pada dua kasus, yaitu:

a) Kasus I : pengemudi kendaraan jalan raya dapat melihat kereta api yang mendekat dan kendaraan dapat melintasi persilangan sebelum kereta api tiba di persilangan,

b) Kasus II : pengemudi kendaraan jalan raya dapat melihat kereta api yang mendekat dan kendaraan dapat dihentikan sebelum memasuki daerah persilangan.

Kasus I

Lihat Gambar 8.25.



Gambar 8.25 Persilangan sebidang tanpa penutup. Kasus I

Segitiga daerah pandangan bebas mempunyai dua sisi, yaitu jarak pandang dH (pada jalan raya) dan jarak pandang dT (pada jalan rel). Untuk kedua jarak pandang tersebut dapat ditetapkan sebagai berikut:

$$dH = 1{,}4667.Vv.t + \frac{Vv^2}{30.f} + D + de \qquad (8.6)$$

$$dT : \frac{VT}{Vv}\left(1{,}667.Vv.t + \frac{Vv^2}{30.f} + 2.D + L + W\right) \qquad (8.7)$$

dengan :

dH : jarak pandang bebas minimum sepanjang jalan raya (feet),
dT : jarak pandang bebas minimum sepanjang jalan rel (feet),
Vv : kecepatan kendaraan jalan raya (mil/jam),
VT : kecepatan kereta api (mil/jam),
t : waktu reaksi, diambil 2,5 detik,
f : koefisien gesek,
D : jarak dari garis berhenti, atau jarak ujung depan kendaraan ke rel terdekat, diambil 15 feet,
de : jarak dari pengemudi ke ujung depan kendaraan, diambil 10 feet,
L : panjang kendaraan, diambil 65 feet,
W : jarak antara rel terluar, untuk jalur tunggal digunakan 5 feet.

Untuk keperluan keamanan, panjang dH yang didapat dari persamaan 8.6. perlu dikalikan dengan faktor keamanan minimum sebesar 1,1.

Untuk menentukan koefisien gesek (f) yang digunakan dapat menggunakan Tabel 8.1.berikut:

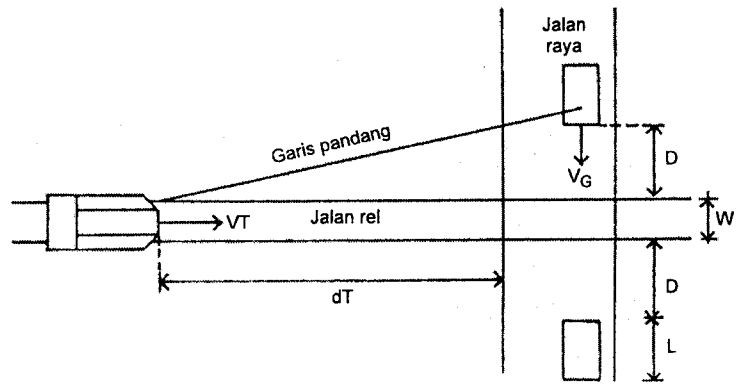
Tabel 8.1. Koefisien gesek pada jalan (f)

PT. Kereta Api (persero) *)			AASHTO 1984 **)		
Kecepatan		Koefisien gesek	*Speed* (mph)		Koefisien gesek ***)
km/jam	Mil/jam		*Design speed*	*Assumed speed*	
20	12,43	0,40	20	20 – 20	0,40
40	24,80	0,38	25	24 – 25	0,38
60	37,28	0,32	30	28 – 30	0,35
80	49,71	0,30	35	32 – 35	0,34
90	55,92	--	40	36 – 40	0,32
100	62,14	0,29	45	40 – 45	0,31
110	68,35	--	50	44 – 50	0,30
120	74,57	0,28	55	48 – 55	0,30
			60	52 – 60	0,29
			65	55 – 65	0,29
			70	58 - 70	0,28

Catatan: *) : diambil dari PD 10 (PJKA), 1986
**) : diambil dari *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1984*
***) : untuk perkerasan dalam keadaan basah (*wet pavements*)

Kasus II

Lihat Gambar 8.26.



Gambar 8.26 Persilangan sebidang tanpa penutup. Kasus II.

$$dT : 1{,}4667.VT\left(\frac{V_G}{al} + \frac{L + 2D + W - da}{V_G} + J\right) \qquad (8.8)$$

dengan :

dT : jarak pandang bebas minimum sepanjang jalan rel (feet),
VT : kecepatan kereta api (mil/jam),
V_G : kecepatan terbesar kendaraan pada sisi pertama, diambil sebesar 8,8 feet/detik
al : percepatan kendaraan pada sisi pertama, diambil 1,47 feet/detik
J : waktu reaksi, diambil sebesar 2,0 detik

$da = \frac{V_G^2}{2.al}$: jarak yang ditempuh kendaraan ketika mempercepat untuk mencapai kecepatan tertinggi pada gigi(gear) pertama.

Berdasarkan pada kedua kasus tersebut di atas AASHTO (1984) memberikan tabel kebutuhan jarak pandangan bebas pada kedua belah pihak yaitu pada jalan raya dan jalan rel sebagai yang ditunjukkan pada Tabel 8.2. Untuk lebih jelasnya dipersilakan membaca dan memahaminya pada buku *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1984* (Bab IX), dari AASHTO.

Jarak-jarak minimum pandangan bebas untuk kedua kasus tersebut di atas juga diberikan oleh PT. Kereta Api (persero) melalui PD 10, seperti yang tercantum pada Tabel 8.3.

Perlu dicatat bahwa baik yang berikan oleh AASHTO (1984) maupun oleh PD 10 tahun 1986 jarak pandangan bebas dimaksud (lihat Gambar 8.25 dan Gambar 8.26) ialah dengan syarat medannya rata, bebas dari benda-benda penghalang setinggi 1 meter ke atas, dan diperlintasan dipasang semboyan dan rambu yang sesuai dengan peraturan/ketentuan yang berlaku.

Perlu ditegaskan di sini bahwa dengan alasan mengutamakan keselamatan, maka jenis persilangan/perlintasan yang disarankan ialah persilangan/perlintasan dengan penutup.

Tabel 8.2. Panjang minimum jarak pandangan untuk kombinasi kecepatan di jalan raya dan kecepatan kereta; truk 65 ft melintas jalan rel tunggal dengan sudut perlintasan 90°.

	Case II Departure from Stop	Case I Moving Vehicle						
Train Speed (mph)		Vehicle Speed (mph)						
	0	10	20	30	40	50	60	70
Distance Along Railroad from Crossing, dT (ft)								
10	240	145	103	99	103	112	122	134
20	480	290	207	197	207	224	245	269
30	719	435	310	296	310	337	367	403
40	959	580	413	394	413	449	489	537
50	1159	725	517	493	517	561	611	671
60	1439	870	620	591	620	673	734	806
70	1679	1015	723	690	723	786	856	940
80	1918	1160	827	789	827	898	978	1074
90	2158	1305	930	887	930	1010	1101	1209
Distance Along Highway from Crossing, dH (ft)								
		69	132	221	338	486	659	865

Sumber : *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1984*, AASHTO, hal.892.

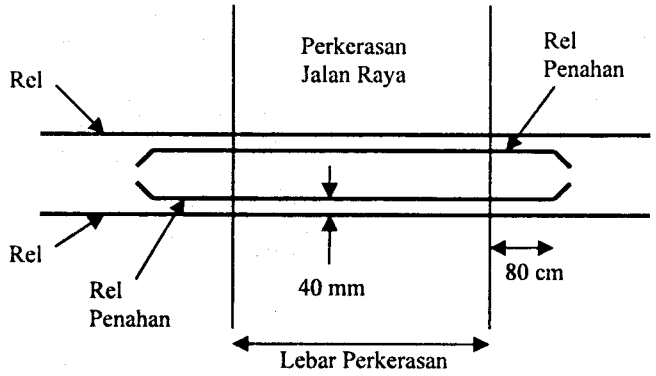
Tabel 8.3. Panjang minimum jarak pandangan untuk kombinasi kecepatan

Kecepatan Kereta api (km/jam)	Kecepatan kendaraan di jalan raya (km/jam)						
	Mulai bergerak	Sedang bergerak					
	0	20	40	60	80	100	120
Panjang pada pihak jalan rel, dT (dalam meter)							
40	185	97	75	78	85	94	105
60	273	145	112	116	127	141	158
80	363	193	150	155	170	188	210
90	409	217	168	174	191	212	237
100	454	241	187	194	212	235	263
110	500	266	206	213	233	259	289
120	545	290	224	233	255	282	316
Panjang pada pihak jalan raya, dH (dalam meter)							
		28	57	102	162	233	322

Sumber : PD 10, tahun 1986, PJKA

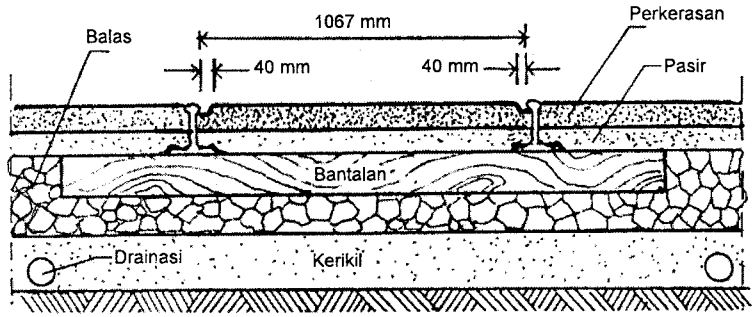
8.5.3 Perencanaan Struktur Persilangan Jalan Rel dengan Jalan Raya

Lebar perkerasan jalan raya pada persilangan antara jalan rel dengan jalan raya baik yang tanpa atau dengan penutup/palang harus sama dengan lebar perkerasan jalan raya yang bersangkutan. Agar supaya roda kereta dapat melewati persilangan ini maka perlu disediakan alur untuk flens roda selebar 40 mm. Lebar alur dimaksud harus selalu bersih dari benda-benda yang dapat mengganggu. Penyediaan alur untuk flens roda dapat dilakukan dengan pemasangan rel lawan yang panjangnya mencapai 80 cm di luar lebar persilangan dan dibengkokkan ke dalam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.27. Pemasangan rel untuk memberikan alur untuk flens roda adalah seperti pada Gambar 7.12 (c).

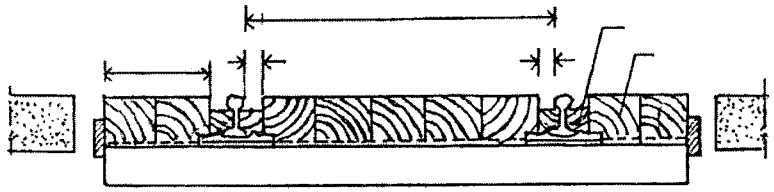


Gambar 8.27 Rel pada persilangan antara jalan rel dengan jalan raya

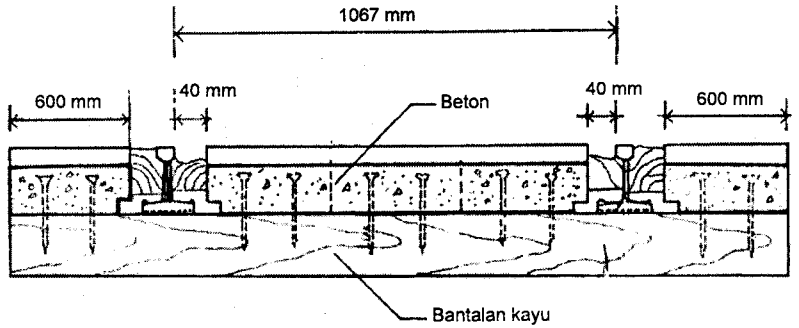
Pada persilangan sebidang antara jalan rel dengan jalan raya dapat digunakan perkerasan beraspal, balok kayu, pelat beton, dan dapat pula digunakan pelat baja khusus. Gambar potongan melintang persilangan sebidang tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.28 hingga Gambar 8.31.



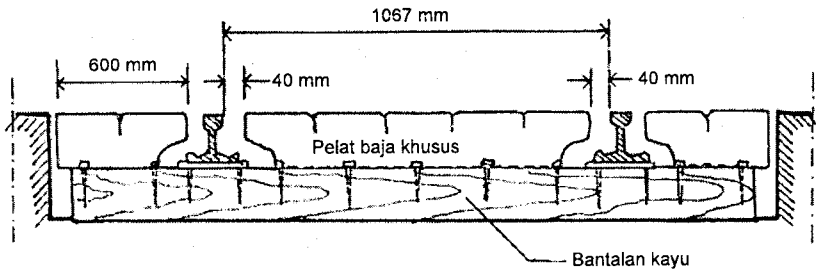
Gambar 8.28 Potongan melintang persilangan sebidang antara jalan rel dengan jalan raya menggunakan perkerasan beraspal



Gambar 8.29 Potongan melintang persilangan sebidang antara jalan rel dengan jalan raya menggunakan balok kayu



Gambar 8.30 Potongan melintang persilangan sebidangantara jalan rel dengan jalan raya menggunakan pelat beton



Gambar 8.31 Potongan melintang persilangan sebidang antara jalan rel dengan jalan raya menggunakan pelat baja khusus

Bab IX

STASIUN DAN EMPLASEMEN

9.1 PENGANTAR

Moda transportasi kereta api dalam menjalankan fungsinya selain memerlukan ketersediaan jalan rel dan kendaraan jalan rel (lokomotif dan kereta/gerbong) juga memerlukan fasilitas untuk:

a) memberikan pelayanan naik dan turunnya penumpang,
b) tempat muat dan bongkar barang angkutan,
c) menyusun lokomotif/kereta/gerbong menjadi rangkaian yang dikehendaki, dan penyimpanan kereta,
d) memberi kemungkinan dan kesempatan kereta api berpapasan atau menyalip,
e) pemeliharaan dan perbaikan kendaraan jalan rel.

Fasilitas tersebut di atas tidak harus selalu ada di tiap-tiap tempat, tetapi tergantung pada kebutuhan atas pelayanan yang perlu disediakan. Selain itu bisa juga beberapa fasilitas dijadikan satu di satu tempat. Masing-masing fasilitas tersebut di atas memerlukan peralatan, perlengkapan, bangunan dan emplasemen (*yard*) sesuai dengan kebutuhan. Kumpulan dari jalan rel, peralatan, perlengkapan, bangunan dan emplasemen yang merupakan satu kesatuan dan merupakan fasilitas moda transportasi kereta api disebut dengan Stasiun.

Emplasemen stasiun terdiri atas jalan-jalan rel yang tersusun sedemikian rupa sesuai dengan fungsinya. Dalam penggambaran skema emplasemen, jalan rel ditunjukkan dengan garis tunggal.

9.2 KATEGORI STASIUN

Stasiun dapat dikategorikan menurut fungsi, ukuran, letak dan bentuknya, yang akan diuraikan berikut.

9.2.1 Kategori Stasiun Menurut Fungsi

Berdasarkan atas fungsinya setasiun dapat dibedakan atas:

a) stasiun penumpang, yaitu untuk naik dan turunnya penumpang, memuat dan menurunkan barang yang dibawa penumpang (bagasi),
b) stasiun barang, berfungsi untuk bongkar-muat barang-barang muatan, dan
c) stasiun langsiran, berfungsi untuk menyusun rangkaian kereta api.

Biasanya hanya di kota-kota besar saja yang terdapat stasiun-stasiun tersebut di atas secara terpisah. Untuk tempat-tempat lainnya biasanya merupakan gabungan dari stasiun-stasiun tersebut di atas.

9.2.2 Kategori Stasiun Menurut Ukuran

Menurut ukurannya, stasiun dapat dibedakan atas:

a) stasiun kecil,
b) stasiun sedang,
c) stasiun besar.

Stasiun kecil

Kereta api cepat antar kota tidak berhenti di stasiun kecil. Stasiun seperti ini terutama untuk pelayanan penumpang lokal. Meskipun demikian, ada pula stasiun kecil yang dapat menerima dan mengirim barang. Stasiun terkecil pada kategori stasiun kecil ini sering disebut dengan Perhentian. Perhentian hanya untuk melayani naik dan turun penumpang saja tanpa pelayanan barang-barang kiriman dan tanpa ada kesempatan kereta api bersilangan atau bersusulan. Untuk memberikan fasilitas kereta api dapat bersusulan atau berpapasan, pada stasiun kecil terdapat dua atau tiga *track* jalan rel.

Stasiun sedang

Umumnya terdapat di kota kecil. Apabila dipandang perlu kereta api antar kota tertentu untuk berhenti, maka terdapat fasilitas pelayanan untuk penumpang jarak jauh. Di stasiun sedang terdapat jalan rel yang jumlahnya relatif lebih banyak dibandingkan dengan di stasiun kecil.

Stasiun besar

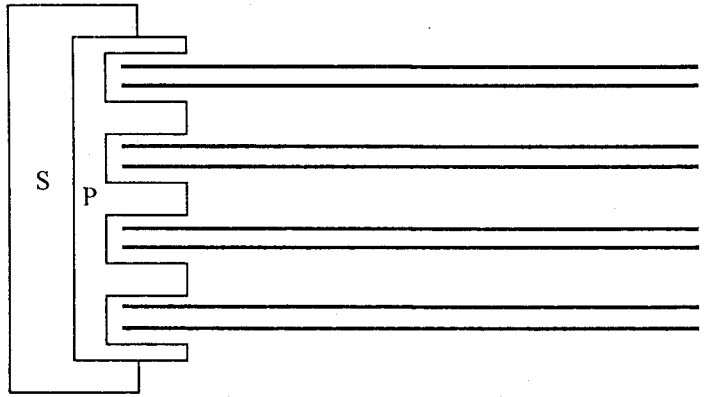
Stasiun besar biasanya terdapat di kota besar, semua kereta api berhenti di stasiun ini. Stasiun besar ini melayani banyak sekali kereta api yang datang dan berangkat, sehingga diperlukan pula banyak jalan rel.

9.2.3 Kategori Stasiun Menurut Letak

Menurut letaknya terdapat empat jenis stasiun, yaitu:

a) stasiun akhir, merupakan tempat mulai atau berakhirnya jalan rel,
b) stasiun antara, terletak pada jalan rel yang menerus,
c) stasiun pertemuan (*junction*), yaitu yang merupakan kombinasi dari stasiun akhir dan stasiun antara. Dapat juga dikatakan bahwa stasiun pertemuan ialah stasiun yang menghubungkan tiga jurusan,
d) stasiun persilangan, terletak di persilangan dua jalan rel.

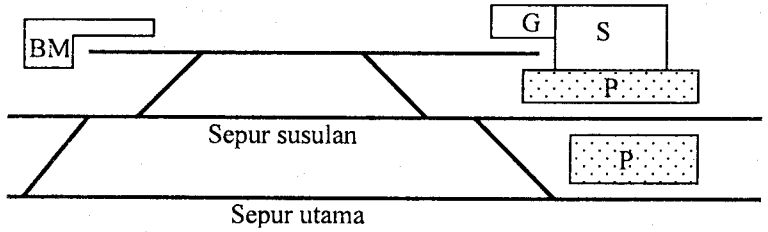
Gambar 9.1 memberikan contoh stasiun akhir, contoh stasiun antara dapat dilihat pada Gambar 9.2. Contoh gambar stasiun pertemuan dan stasiun persilangan masing-masing ditunjukkan dengan Gambar 9.3 dan Gambar 9.4.



S : stasiun
P : peron

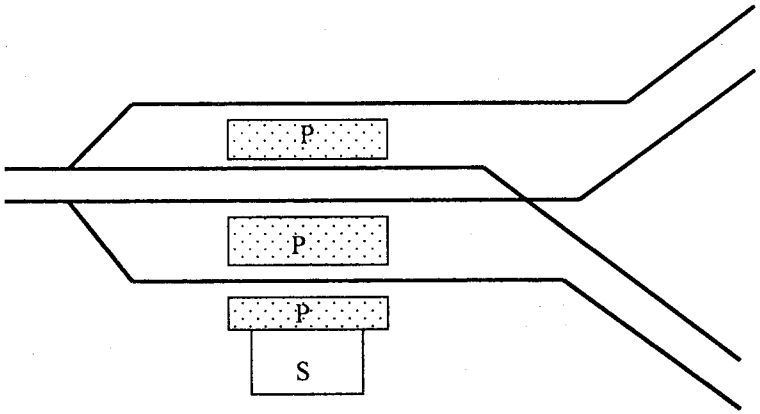
: jalan rel

Gambar 9.1 Stasiun akhir



BM : bongkar – muat
G : gudang barang
S : gedung stasiun
P : peron

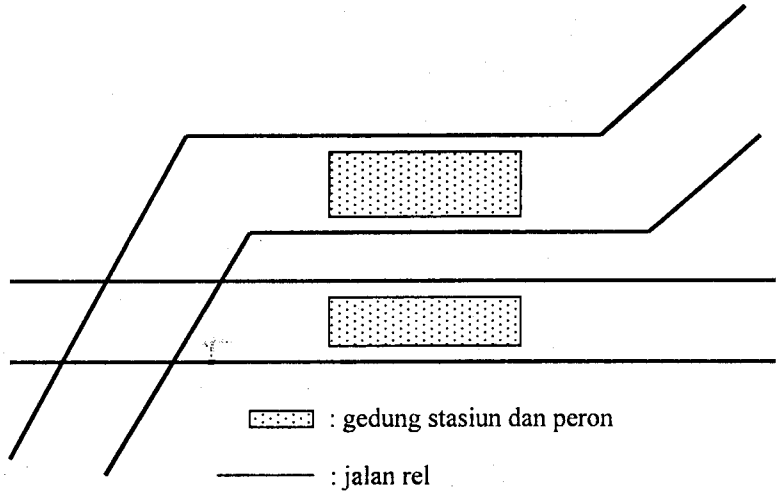
Gambar 9.2 Stasiun antara



S : gedung stasiun
P : peron

: jalan rel/sepur

Gambar 9.3 Stasiun pertemuan



Gambar 9.4 Stasiun persilangan

9.2.4 Kategori Stasiun Menurut Bentuk

Terdapat empat bentuk stasiun, yaitu:

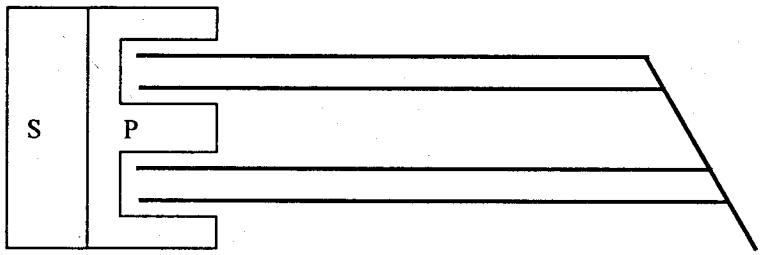
a) stasiun kepala atau stasiun siku-siku. Pada stasiun ini letak gedung utama siku-siku terhadap jalan rel yang berakhir di stasiun tersebut. Contoh stasiun bentuk kepala ini ialah Stasiun Jakarta-Kota dan Stasiun Kertapati (Sumatera Selatan),

b) stasiun sejajar. Letak gedung utama pada stasiun ini sejajar dengan jalan rel,

c) stasiun pulau. Gedung utama stasiun sejajar denag jalan el dan terletak di antara jalan relnya. Stasiun Cikampek ialah contoh dari stasiun ini,

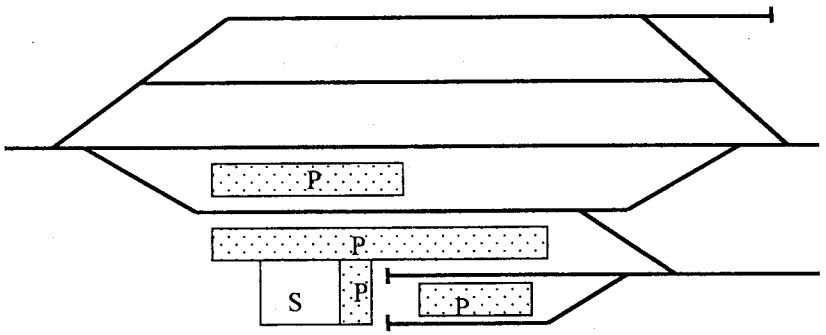
d) Stasiun semenanjung, yaitu apabila gedung utama stasiunnya terletak di antara dua jalan rel yang bertemu.

Contoh-contoh gambar stasiun menurut bentuknya dapat dilihat pada Gambar 9.5 hingga Gambar 9.8.



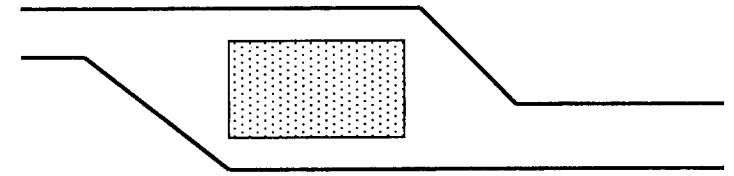
S : gedung stasiun ——— : jalan rel
P : peron

Gambar 9.5 Stasiun kepala



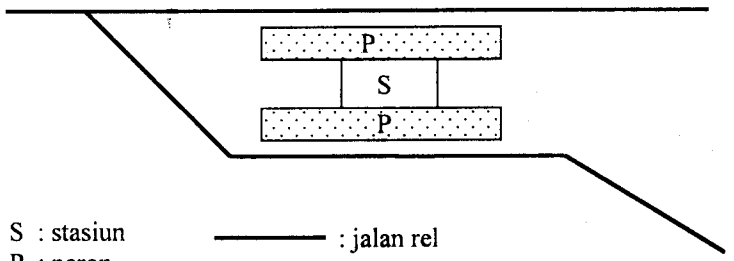
S : gedung stasiun ——— : jalan rel
P : peron

Gambar 9.6 Stasiun sejajar



: stasiun ——— : jalan rel

Gambar 9.7 Stasiun pulau



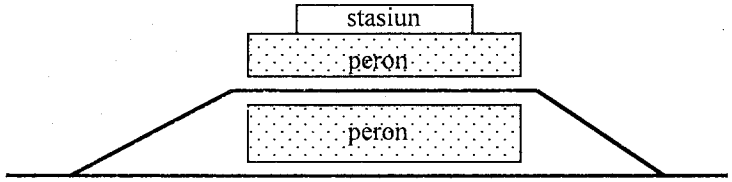
S : stasiun ——— : jalan rel
P : peron

Gambar 9.8 Stasiun semenanjung

9.3 EMPLASEMEN

9.3.1 Emplasemen Stasiun Kecil

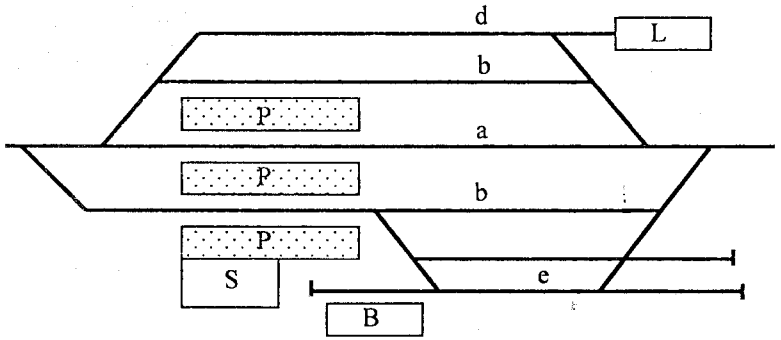
Untuk memungkinan kereta api bersilangan dan bersusulan, di emplasemen stasiun kecil terdapat dua atau tiga jalan rel, yang terdiri atas satu jalan rel terusan dan satu atau dua jalan rel silangan/susulan. Gambar 9.9 ialah contoh gambar skema emplasemen stasiun kecil.



Gambar 9.9 Contoh skema emplasemen stasiun kecil

9.3.2 Emplasemen Stasiun Sedang

Emplasemen stasiun sedang mempunyai jumlah jalan rel yang lebih banyak banyak dibandingkan pada setasiun kecil. Contoh gambar emplasemen stasiun sedang dapat dilihat pada Gambar 9.10.



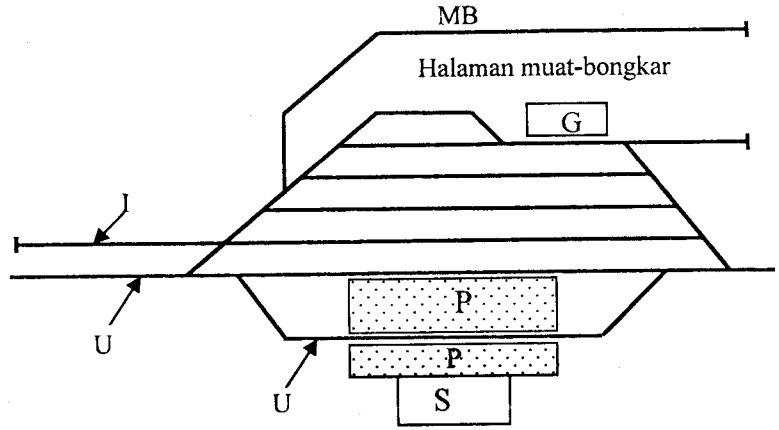
Gambar 9.10 Contoh skema emplasemen stasiun sedang

Notasi pada Gambar 9.10:

a : jalan rel utama
b : jalan rel penyimpanan
c : jalan rel langsiran
d : jalan rel untuk lokomotif
e : jalan rel untuk kereta barang
S : gedung utama stasiun
B : tempat bongkar-muat barang
L : tempat penyimpanan lokomotif
P : peron

9.3.3 Emplasemen Stasiun Besar

Jalan-jalan rel di emplasemen stasiun besar tidak semuanya akan berdampingan letaknya, tetapi dapat dalam bentuk perpanjangannya. Pada stasiun yang sangat besar, stasiun penumpang, pelayanan barang dan langsiran dipisahkan. Pemisahan ini bukan berarti bahwa jalan rel untuk langsiran harus terletak jauh dari jalan rel utama, tetapi dapat dengan cara memasang jalan rel isolasi (lihat Gambar 9.11)

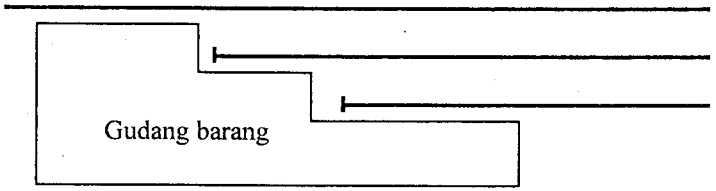


U : jalan rel utama
I : jalan rel isolasi
MB : jalan rel untuk muat-bongkar
S : stasiun
P : peron
G : gudang barang

Gambar 9.11 Contoh skema emplasemen stasiun besar

9.3.4 Emplasemen Barang

Emplasemen barang dibuat khusus untuk melayani pengiriman dan penerimaan barang. Sesuai dengan kegunaannya maka emplasemen barang biasanya terletak di dekat daerah industri, perdagangan atau pergudangan. Contoh emplasemen barang dapat dilihat pada Gambar 9.12.



Gambar 9.12 Contoh emplasemen barang

9.3.5 Emplasemen Langsir

Pembuatan emplasemen langsir (*Marshaling yard*) dimaksudkan sebagai fasilitas untuk menyusun kereta/gerbong (dan lokomotifnya). Pada suatu kebutuhan angkutan tertentu (misalnya pada kereta barang) gerbong yang akan ditarik oleh lokomotif perlu disusun sedemikian sehingga sesuai dengan stasiun/tempat tujuannya. Penyusunan gerbong tersebut jangan sampai mengganggu operasi kereta api yang lain, sehingga diperlukan suatu fasilitas tersendiri untuk keperluan tersebut, yaitu emplasemen langsir.

Kegiatan langsir yang dilakukan di emplasemen langsir pada umumnya ialah sebagai berikut:

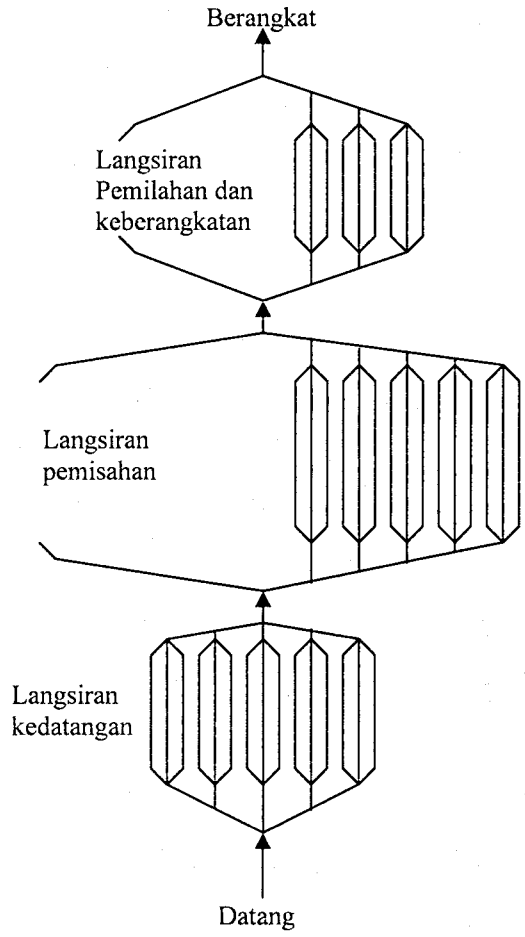
a) gerbong-gerbong yang datang dipisah (dilepas dari rangkaian kereta api),
b) gerbong-gerbong tersebut, setelah dipisah kemudian dipilah menurut jurusan yang akan dituju,
c) gerbong-gerbong yang telah dipilah sesuai jurusannya dipilah dan dikelompokkan sesuai urutan stasiun tujuan,
d) gerbong-gerbong yang telah terpilah sesuai jurusan dan terkelompokkan sesuai dengan stasiun tujuan dirangkai manjadi rangkaian kereta api yang siap diberangkatkan,

Untuk memberikan fasilitas kegiatan langsir seperti tersebut di atas, pada umumnya susunan emplasemen langsir ialah terdiri atas susunan jalan rel (sepur) sebagai berikut:

a) susunan sepur kedatangan,
b) susunan sepur untuk pemilahan jurusan,
c) susunan sepur untuk pemilahan menurut stasiun, dan
d) susunan sepur keberangkatan.

Gambar 9.13 memberikan contoh skema dasar emplasemen langsir yang besar. Pada gambar dimaksud terlihat tiga pengelompokan tempat langsiran, yaitu:

a) langsiran kedatangan,
b) langsiran pemisahan,
c) langsiran pemilahan dan keberangkatan.



Gambar 9.13 Contoh emplasemen langsir

Bab X

PERENCANAAN DAN PERANCANGAN

10.1. PENDAHULUAN

Perencanaan dan perancangan jalan rel yang akan diuraikan pada bab ini ialah sebatas pada lingkup perencanaan dan perancangan teknik prasarana jalan rel. Pada bab ini akan diuraikan beberapa hal antara lain: alinemen, survai jalur dan lokasi, dan gambar perencanaan dan perancangan. Sedangkan mengenai biaya dan faktor-faktor ekonomi tidak dibahas pada bab ini.

10.2. ALINEMEN

Yang dimaksud dengan alinemen jalan rel ialah letak garis sumbu (*central line*) jalan rel pada permukaan tanah. Alinemen horisontal meliputi jalan/garis lurus dan lengkung horisontal. Kelandaian dan lengkung vertikal termasuk dalam alinemen vertikal. Alinemen jalan rel sangat erat kaitannya dengan survai jalur dan lokasi. Alinemen jalan rel tidak dapat ditentukan tanpa adanya data lapangan, dan survai rinci tentang jalur dan lokasi tidak akan dapat dilaksanakan dengan tepat tanpa adanya gambaran atau perencanaan awal alinemen meskipun kadang masih berupa alinemen alternatif. Saling keterikatan dua hal tersebut dapat diatasi dengan cara penentuan satu atau lebih jalur tentatif pada peta kontur lokasi antara titik awal dan titik alhir jalur jalan rel yang direncanakan.

Alinemen jalan rel yang ideal ialah yang memenuhi tuntutan: pendek, mudah, aman, nyaman, ekonomis. Dalam perencanaan alinemen perlu diusahakan agar pekerjaan tanah dapat minimal dan

pekerjaan galian seimbang dengan pekerjaan timbunan. Penentuan alinemen tersebut secara umum harus mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

a) tempat-tempat yang akan dihubungkan oleh jalan rel,
b) jenis dan jumlah lalulintas kereta api yang akan melewatinya,
c) topografi dan kondisi geoteknik,
d) perancangan geometri,
e) ketersediaan bahan,
f) estetika,
g) ekonomi.

Dalam perencanaan dan perancangan jalan rel, perlu dilakukan survai dan penyelidikan sebagai berikut:

a) survai jalur dan lokasi,
b) penyelidikan geoteknik,
c) studi drainasi

10.3. SURVAI JALUR DAN LOKASI

Survai jalur dan lokasi dilakukan terhadap alinemen yang dipilih/ ditentukan, akan tetapi penentuan final alinemen dilakukan setelah memperhitungkan kondisi lokasi dan geoteknik daerah yang dilalui jalur. Survay jalur dilaksanakan melalui tiga tahap, yaitu:

a) *reconnaissance survey,*
b) survai pendahuluan,
c) survai lokasi final.

Reconnaissance Survey

Tujuan reconnaissance survey ialah untuk menyelidiki karakteristik umum lokasi untuk memilih alinemen alternatif. Survai ini meliputi: studi terhadap peta, peta kontur, tataguna lahan, peta geologi dan peta geologi teknik, foto udara, data iklim dan cuaca, sejarah lokasi, sungai, aliran drainasi, jarak terhadap bahan yang akan digunakan, dsb.

Dalam melakukan *reconnaissance survey* harus diperhatikan bahwa:

a) survai harus mencakup seluruh area lokasi, tidak hanya pada lajur jalan rel saja,
b) asumsi-asumsi yang dibuat selama survai harus mempunyai dasar dan alasan yang kuat.

Survai Pendahuluan

Tujuan survai pendahuluan pada survai jalur dan lokasi ialah untuk memungkinkan persiapan bagi perencanaan dapat berada pada garis yang benar dan tepat. Ketepatan dan kebenaran perencanaan sumbu final jalan rel tergantung pada ketepatan dan ketelitian survai pendahuluan. Oleh karena itu maka dalam pelaksanaan survai ini perlu diperhatikan beberapa hal berikut :

a) untuk pengukuran yang teliti sepanjang garis sumbu rencana, pengukuran dilakukan dengan alat ukur panjang berupa pita baja. Pengukuran sudut dilakukan dengan teodolit dengan metode *double reversal,*
b) titik-titik pengukuran dengan teodolit sepanjang garis sumbu rencana perlu diberi tanda dengan patok dan diberi nomor/kode,

Survai lokasi final

Survai tahap ini ialah untuk menetapkan sumbu rencana jalan rel pada permukaan tanah dengan kontrol arah vertikal dan horisontal yang diperlukan. Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini secara garis besar dikelompokkan pada dua hal, yaitu:

a) pematokan garis sumbu final di lapangan,
b) penentuan ketinggian secara rinci.

10.4 PENYELIDIKAN GEOTEKNIK

Pada umumnya jalan rel akan melintasi suatu daerah yang sangat panjang dengan keadaan geoteknik yang sangat bervariasi. Oleh karena itu maka penyelidikan geoteknik yang lengkap sangat diperlukan dalam perencanaan dan perancangan jalan rel, termasuk dalam perancangan badan jalan rel, tanah dasar dan balas. Data geoteknik yang diperlukan meliputi data geologi teknik, dan data tanah.

1. Data geologi teknik

Data geologi teknik diperlukan untuk mengetahui kondisi lokasi secara umum dari aspek geologi teknik, meliputi:

a) bentukan dan sejarah geologi
b) diskripsi batuan dan tanah,
c) diskripsi masa tanah, menyangkut sesar, lipatan,
d) bentuk lereng, dan proses-proses yang masih berjalan,
e) kemiringan, tempat-tempat yang labil dan yang sudah stabil,
f) keadaan alam lainnya, seperti lembah, jurang, sungai, danau dan hal-hal spesifik lainnya.

2. Data tanah

Data tanah (*ground*) diperlukan untuk perancangan rinci jalan rel, terutama pada perancangan badan jalan rel, tanah dasar, dan balas. Penyelidikan dapat dilakukan in-situ (di lapangan) atau di laboratorium.

Dilakukan in-situ

Penyelidikan in-situ meliputi antara lain:

a) pemboran untuk mengambil *undisturbed sample,* dilakukan dengan interval ± 200 meter (bila tanah diperkirakan sejenis). Apabila bervariasi, interval lebih pendek,
b) uji *California Bearing Ratio (CBR)* atau *Plate Bearing Test* di beberapa titik lokasi pemboran, sekaligus pengambilan *disturbed sample* untuk uji klasifikasi dan sifat-sifat tanah lainnya,
c) pengujian dengan *Portable Cone Penetrometer.* Hal ini dilakukan di tempat uji *CBR/Plate Bearing Test.*

Pengujian di laboratorium

Sifat-sifat geoteknik yang perlu diperiksa di laboratorium ialah:

a) sifat-sifat indeks, meliputi: kadar air, berat unit tanah, berat jenis, angka pori, derajat kejenuhan,
b) gradasi, batas-batas Atterberg, sensitivitas,
c) parameter kuat geser,

d) kuat dukung,
e) modulus elastisitas,
f) parameter konsolidasi,
g) koefisien permeabilitas.

Untuk bahan timbunan, perlu dilakukan penguj ian terhadap *disturbed sample* bahan timbunan, meliputi:

a) berat jenis, gradasi, batas-batas Atterberg,
b) karakteristik pemadatan,
c) CBR dan kuat dukung.

10.5 STUDI DRAINASI

Drainasi jalan rel menyangkut pembuangan kelebihan air pada batas-batas jalan rel dengan cara yang benar. Sejauh mungkin, jalan rel berada pada daerah yang mempunyai kemampuan drainasi alami. Ketinggian kedudukan jalan rel harus berdasarkan pada pertimbangan teknis yang mengacu pada Ketinggian Banjir Tertinggi (*High Flood Level*).

Untuk keperluan perencanaan dan perancangan drainasi diperlukan data hidrologi dan data yang berkaitan dengan drainasi, antara lain:

a) curah hujan,
b) keadaan vegetasi,
c) parit-parit, sungai dan drainasi alami.

10.6 GAMBAR TEKNIK PERENCANAAN DAN PERANCANGAN

Berdasarkan pada data yang diperoleh dari penyelidikan/survai yang diperlukan, gambar teknik perencanaan dan perancangan rinci yang meliputi jalur, *track* dan struktur jalan rel dapat dibuat. Gambar teknik dimaksud secara umum meliputi:

a) *Site Plan, m*erupakan peta kontur yang menunjukkan alinemen rencana dan prasarana lain yang berkaitan, seperti jalan rel lainnya, jalan raya dsb,
b) *Index Map.* Peta ini dikembangkan dan diperbesar dari *site plan* dengan maksud untuk memberikan gambar alinemen yang lebih rinci,

c) gambar potongan rinci jalan rel. Gambar ini merupakan dasar untuk penghitungan pekerjaan tanah/geoteknik dan balas,
d) gambar rinci perpotongan dengan sungai/aliran air lainnya,
e) gambar rinci rencana jembatan,
f) gambar rinci struktur jalan rel, termasuk persilangan dan wesel,
g) gambar rencana stasiun dan emplasemen (apabila perencanaan dan perancangan juga meliputi stasiun dan emplasemen).

Bab XI

PEMBANGUNAN DAN PERAWATAN

11.1 PENGANTAR

Pada bab ini akan diuraikan secara garis besar pembangunan jalan rel baru, dan beberapa hal yang berkaitan dengan pelaksanaan perawatan jalan rel. Pembangunan jalan rel dilaksanakan berdasarkan pada hasil perencanaan dan perancangan, yaitu gambar teknik dan spesifikasi. Sedangkan perawatan jalan rel perlu dilakukan karena jalan rel harus senantiasa dapat menjalankan fungsinya dengan aman dan nyaman.

11.2 PEMBANGUNAN

Pada pembangunan jalan rel baru, bahan yang diperlukan dibawa ke lokasi dan dibangun/dipasang untuk membentuk sepur (track). Dalam membangun jalan rel baru, karena masih terdapat kemungkinan terjadinya penurunan maka balas tidak dibangun awal. Setelah selesai pekerjaan badan jalan dan tanah dasar, struktur bagian atas (bantalan, rel, penambat rel) dipasang lebih dahulu, baru setelah beberapa waktu (memberi waktu untuk proses konsolidasi), struktur bagian atas diangkat, bahan balas disebarkan di bawah struktur bagian atas dan dipadatkan.

Pembangunan jalan rel baru dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu sebagai berikut:

a) pembangunan badan jalan rel dan tanah dasar,
b) pemasangan struktur bagian atas,
c) pembangunan balas.

11.2.1 Pembangunan Badan Jalan Rel dan Tanah Dasar

Tahap ini merupakan tahap pertama dalam pembangunan jalan rel setelah pemantapan dan penetapan alinemen di atas tanah. Tergantung pada topografi dan ketinggian rencana final, tanah dasar dapat berada pada timbunan, galian atau pada ketinggian/level permukaan tanah asli. Pekerjaan yang dilakukan pada tahap ini ialah :

a) pembersihan medan (*site clearing*),
b) pekerjaan tanah (*earthwork*),
c) pemeriksaan tanah dasar.

Pembersihan medan

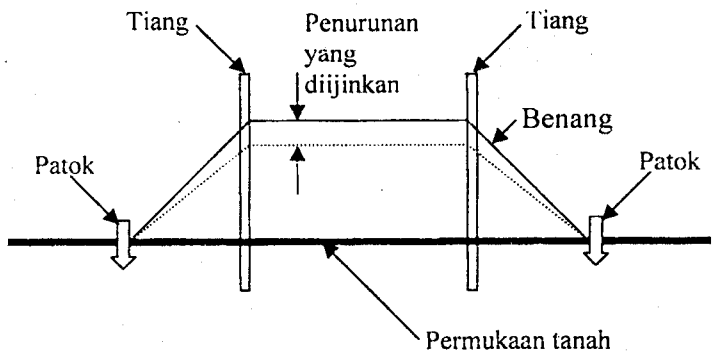
Pembersihan medan meliputi pembersihan dan pembuangan semua tumbuh-tumbuhan yang berada di lokasi yang akan dikerjakan. Untuk mencegah terjadinya masalah akibat pembusukan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang masih tertinggal, pembersihan medan sebaiknya dilakukan hingga kedalaman paling sedikit 50 cm di bawah permukaan tanah dasar final.

Pekerjaan tanah

Pekerjaan tanah dilaksanakan setelah pekerjaan pembersihan medan selesai. Pada daerah yang datar, karena pertimbangan teknis, sebagian terbesar jalur dibangun di atas timbunan. Ketinggian timbunan (*embankment*) tidak kurang dari 60 cm di atas ketinggian muka air banjir maksimum. Pada daerah pegunungan (*rolling terrain*), pekerjaan timbunan dan galian sering harus dilakukan.

Sebagai arahan dan patokan kerja dalam membangun embankment perlu dipasang profil yang terbentuk dari patok dan tali (lihat Gambar 11.1) di setiap jarak 30 meter. Setelah pekerjaan timbunan atau galian mendekati/hampir selesai, patok ketinggian perlu dipasang di sepanjang lokasi sumbu jalan rel rencana dengan interval jarak 20 meter. Setelah pemasangan patok ketinggian, pekerjaan diteruskan hingga mencapai tanda ketinggian yang ada pada patok ketingian tersebut.

Pemadatan dilakukan untuk meningkatkan kepadatan dan stabilitas badan jalan rel dan tanah dasar, serta akan mengurangi kecenderungan untuk terjadi penurunan. Oleh karena itu maka pemadatan adalah sangat penting dalam pembangunan jalan rel.



Gambar 11.1 Profil untuk pembangunan *embankment*

Pemeriksaan tanah dasar

Permukaan final perlu diperiksa kebenaran dan ketepatannya. Ketinggian permukaan tanah dasar sepanjang alinemen dapat diperiksa dengan alat ukur ketinggian. Ketinggian akhir yang terbentuk tidak boleh menyimpang terlalu besar. Menurut Arora (1980) penyimpangan tidak boleh lebih dari 25 mm terhadap ketinggian rencana dalam gambar teknik.

11.2.2 Pemasangan Struktur Bagian Atas

Cara yang biasa digunakan untuk pemasangan struktur bagian atas, ialah: *side method, telescopic method* dan *American method.*

Side method

Cara ini digunakan apabila telah tersedia sepur/track, misalnya pada pekerjaan pembangunan jalur ganda (*double track*) yang merupakan pengembangan dari jalur tunggal (*single track*). Bahan yang dibutuhkan untuk pembangunan diangkut ke lokasi pekerjaan menggunakan kereta pengangkut bahan (*material train*) dan kemudian dipasang pada rencana jalur, sehingga cara ini juga disebut *Tram-line method.* Apabila belum tersedia sepur (*excisting track*), dapat digunakan sepur sementara (*temporary track*) atau jalan yang paralel dengan jalur jalan rel yang dibangun.

Telescopic method

Pada cara ini bahan yang akan dipasang diangkut dari tempat bahan ke lokasi pekerjaan menggunakan jalur track yang sama dengan yang baru selesai dibangun. Dengan cara ini struktur bagian atas dipasang pada arah depan track yang baru selesai dibangun, menuju titik tujuan. Gerakan maju membangun/memasang struktur bagian atas tersebut seperti memindahkan teleskop untuk memungkinkan pengamatan obyek yang jauh menjadi lebih fokus, sehingga cara ini disebut dengan Telescopic Method.

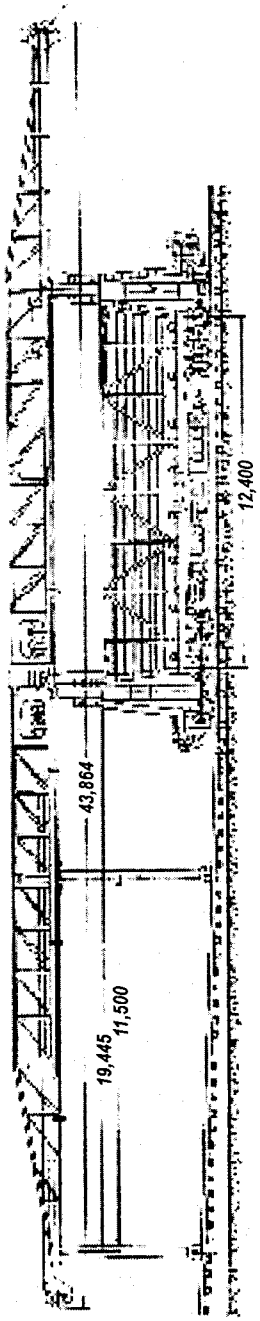
American method

Cara ini pertama kali digunakan di Amerika sehingga dikenal sebagai *American Method.* Pada cara ini rel dipasang pada bantalan menggunakan sistem penambat rel di tempat perakitan yaitu di bengkel perakitan. Struktur bagian atas yang dirakit dengan panjang tertentu diangkut ke lokasi pekerjaan dan diletakkan/dipasang menggunakan alat berat untuk meletakkan/memasang struktur bagian atas (*track-laying machine*). Contoh alat berat tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.2. Cara ini lebih banyak menggunakan alat-alat berat. *American* method banyak digunakan di Amerika, Inggris dan beberapa negara maju lainnya.

11.2.3 Pembangunan Balas

Pembangunan balas dilaksanakan setelah penurunan badan jalan rel dan tanah dasar secara teknis dipandang cukup. Pelaksanaan pembangunan balas dapat dilakukan dengan cara-cara seperti yang diuraikan berikut.

Cara pertama, bahan balas diangkut oleh kereta pengangkut ke lokasi pekerjaan, kemudian dituangkan di lokasi pekerjaan pada interval jarak tertentu dalam bentuk tumpukan-tumpukan bahan balas. Penyebaran dan pemadatan bahan balas dilakukan secara manual menggunakan sekop (*shovel*) dsb. Cara kedua, penyebaran bahan balas dilakukan oleh oleh kereta balas (*ballast train*). Mekanisme penyebarannya ialah sewaktu kereta balas berjalan dengan kecepatan tertentu, bahan balas ke luar melalui "pintu" yang ada di lantai kereta balas dan disebarkan secara merata pada sepur yang dibangun.



Gambar 11.2. *Track-laying machine*

Untuk menghindari terjadinya kantong balas akibat pembebanan oleh kereta pada *track* yang belum diberi balas, Hay (1982) menyatakan bahwa untuk pekerjaan yang baik, sebelum struktur bagian atas diletakkan dan pemberian beban, balas dituangkan di atas tanah dasar dengan ketebalan antara 6 - 8 inch.

11.3 PERAWATAN

Setelah jalan rel dibangun dan digunakan untuk lalulintas kereta api, seluruh komponen dan struktur jalan rel dapat rusak akibat beban dan gerakan kereta api, serta pengaruh cuaca. Apabila tidak dilakukan perawatan yang terus-menerus, baik dan tepat, komponen dan srtuktur jalan rel dapat semakin memburuk sehingga dapat mengakibatkan perjalanan kereta api menjadi tidak aman, tidak nyaman, dan tidak lancar. Perawatan jalan rel dilakukan untuk merawat komponen dan fasilitas yang diperuntukkan bagi jalan rel dalam keadaan baik untuk memberikan gerakan perjalanan lalulintas kereta api yang aman, nyaman, dan lancar. Selain itu perawatan yang baik juga memberikan keuntungan berupa umur komponen jalan rel dan kendaraan jalan rel yang lebih panjang, dan biaya operasi yang lebih rendah karena penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit.

Perawatan jalan rel dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan peralatan ringan/sederhana atau menggunakan alat-alat berat. Perawatan jalan rel yang secara umum harus dilakukan, secara garis besar dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu:

a) perawatan rutin (routine maintenance),
b) perawatan khusus (special maintenance).

11.3.1 Perawatan Rutin

Perawatan rutin yang dimaksud di sini meliputi perawatan harian dan perawatan berkala. Pada dasarnya beberapa jenis pekerjaan yang perlu dilakukan pada perawatan rutin ialah membetulkan kerusakan, cacat, dan hal lain yang tidak sesuai dengan yang seharusnya, yang terjadi pada:

a) alinemen jalan rel,
b) lebar sepur,
c) komponen struktur jalan rel,

d) permukaan kepala rel,
e) wesel dan persilangan,
f) persilangan dengan jalan raya,
g) jembatan, gorong-gorong dsb,
h) sistem dan konstruksi drainasi,
i) terowongan.

Perawatan harian

Perawatan harian dilakukan oleh pekerja sepanjang tahun. Perawatan harian dilakukan oleh pekerja yang tergabung dalam regu, yang tiap-tiap regu dikepalai oleh seorang kepala regu. Untuk pekerjaan perawatan harian ini, jalur jalan rel dibagi dalam beberapa bagian panjang (petak jalan rel). Satu petak jalan rel sekitar 6 kilometer. Tiap-tiap regu bertugas dan bertanggung jawab atas perawatan jalan rel pada petak jalan rel dimaksud agar supaya komponen dan struktur jalan rel selalu dalam keadaan baik. Perawatan harian meliputi :

a) pemeriksaan harian oleh regu,
b) pengetatan (*tightening*) baut yang kendor,
c) pengetatan komponen struktur penambat,
d) pembersihan celah jalur flens pada wesel, persilangan dsb,
e) pemberian pelumas pada balok gelincir wesel,

Perawatan berkala

Yaitu perawatan jalan rel yang dilakukan secara berkala dalam interval waktu tertentu, misalnya dua kali dalam setahun, setiap dua atau tiga tahun, dan sebagainya. Pada perawatan ini pengontrolan dan evaluasi dilakukan secara menyeluruh terhadap :

a) lebar sepur dan alinemen,
b) kedudukan dan dimensi rel,
c) wesel dan persilangan.

Berdasarkan atas hasil pengontrolan dan evaluasi tersebut, dilakukan perbaikan (jika perlu penggantian) agar supaya jalan rel dapat berada pada kondisi yang baik.

Perawatan (termasuk pengawasan) rutin yang diuraikan di atas adalah merupakan perawatan yang secara umum perlu dilakukan, sedang-

kan jenis pekerjaan perawatan dan interval perawatan dapat berbeda antara satu negara dengan negara yang lain. Sebagai contoh di Indonesia pernah digunakan cara pengelompokan pekerjaan perawatan jalan rel atas tiga jenis, yaitu: pekerjaan A, pekerjaan B dan pekerjaan C (diambil dari Subarkah, 1981).

Pekerjaan A dilakukan dalam setiap jangka waktu selama setengah bulan, meliputi:

a) pelurusan dan pengangkatan sepur,
b) pengetatan baut yang kendor, tirpon, paku rel,
c) pemadatan balas,
d) pengontrolan dan perbaikan lengkung,
e) pengontrolan lebar sepur, peninggian rel, pelebaran sepur,
f) pemeriksaan dan perbaikan wesel,
g) pembersihan badan jalan rel.

Pekerjaan B merupakan pekerjaan pembersihan badan jalan (lihat butir g pada pekerjaan A) untuk kedua kalinya, tetapi hanya dilakukan jika perlu. Pekerjaan C ialah pekerjaan lainnya yang tidak termasuk pekerjaan A dan pekerjaan B, misalnya: membersihkan selokan, mengganti bantalan, perbaikan cacat-cacat sepur yang terjadi mendadak, memperbaiki pagar, dsb.

Pada sistem pemeliharaan jalan rel, Japanese National Railways (JNR) di Jepang pernah menggunakan cara perawatan jalan rel dilakukan dengan tenaga manusia yang dalam satu regu terdiri atas 5 - 15 orang yang bertanggung jawab terhadap jalan rel sepanjang 5 - 10 km. Apabila terjadi kerusakan, maka regu dimaksud wajib segera menanganinya. Akan tetapi karena frekuensi perjalanan kereta api sudah sedemikian tinggi sehingga sulit bagi pekerja untuk menjalankan tugasnya, maka sistem tersebut diubah menjadi dengan periode waktu pengawasan yang lebih panjang, tetapi dengan struktur dan komponen jalan rel yang diperkuat dan mulai menggunakan peralatan bertenaga mesin. Dengan sistem baru tersebut, panjang jalan rel yang menjadi tanggung jawab tiap regu menjadi bertambah panjang.

Kerja perbaikan jalan rel oleh JNR dibagi pada tiga kelompok operasi, yaitu: operasi A, operasi B dan operasi C, yang masing-masing kelompok tersebut mempunyai periode waktu sendiri. Operasi A yang di antaranya ialah penggantian bagian-bagian yang rusak serta

memadatkan bagian-bagian yang mulai gembur dilakukan tiap tahun. Pekerjaan *levelling* atau menyelaraskan tinggi rel dan penyetelan sambungan rel, termasuk pada operasi B yang dilakukan dua kali dalam setahun. Operasi C menangani pemeliharaan/perbaikan skala kecil tanpa jadwal berkala, kapan saja dan di mana saja terjadi kerusakan atau hal lain yang dipandang perlu dilakukan perbaikan.

11.3.2 Perawatan Khusus

Perawatan jalan rel yang secara khusus diadakan sewaktu diperlukan disebut sebagai perawatan khusus. Perawatan khusus ini biasanya dilakukan karena keadaan yang mendesak akibat dari:

a) kereta api "anjlok" (*derailment*),
b) kecelakaan kereta api,
c) kerusakan pada rel dan bantalan yang disebabkan oleh ausan dan atau koyakan yang berlebih, sehingga memerlukan penggantian segera.

11.4 BEBERAPA ALAT-ALAT BERAT UNTUK PEKERJAAN PEMBANGUNAN DAN PERAWATAN

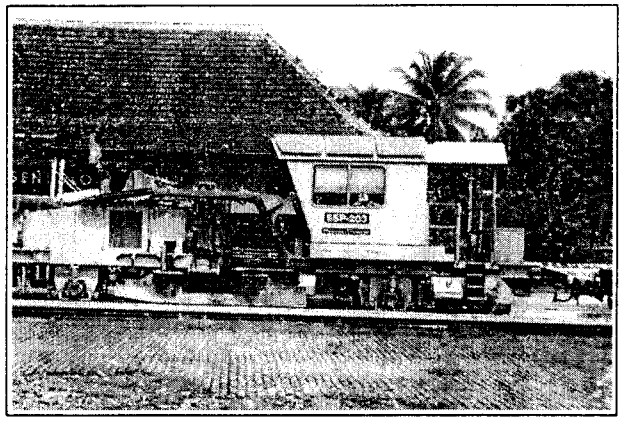
Tabel 11.1 pada halaman berikut memberikan contoh beberapa jenis alat berat yang digunakan untuk pembangunan/perawatan jalan rel.

Gambar 11.3 memperlihatkan gambar Multiple Tie Tamper, sedangkan Ballast Regulating & Distributing Machine dapat dilihat pada Gambar 11.4.

Tabel 11.1 Beberapa jenis alat berat pembangunan/perawatan jalan rel.

No.	Jenis Alat Berat	Kegunaan
1.	Lining, Lifting, Leveling & Tamping Machine/Multiple Tie Tamper/MTT (Plain Track)	Untuk mengangkat, meluruskan jalan rel dan memadatkan balas di bawah bantalan.
2.	Lining, Lifting, Leveling & Tamping Machine/MTT for Switches, Plain Track & Crossing	Mengangkat, meluruskan jalan rel dan memadatkan balas di bawah bantalan untuk wesel dan perlintasan.
3.	Ballast Regulator (Universal ballast profiling) Machine	Untuk mengatur posisi balas, membuat profil balas.
4.	Crib Consolidator Machine	Untuk memadatkan permukaan balas di antara dua bantalan.
5.	Flash Butt Welding Machine	Untuk menyambung rel dengan sistem las.
6.	Ballast Cleaner Machine	Untuk membersihkan, menyaring balas kotor.
7.	Ballast Regulating & Distributing Machine	Untuk mengatur dan mend istribusikan balas.
8.	Universal Permanent Way Motor Vehicle Machine	Mesin serba guna untuk membuat parit, mengeruk balas, pasir dsb.
9.	Track Relaying System Machine	Untuk menyusun bantalan, merakit jalan rel.
10.	Hydraulic Rail Treader Machine	Untuk memasang rel pada bantalan tersusun.

Gambar 11.3. Multiple Tie Tamper



Gambar 11.4. Ballast Regulating & Distributing Machine

DAFTAR PUSTAKA

-------- (1984), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

-------- (1997), Manual for Railway Engineering Vol.1 Railway Track, American Railway Engineering Association.

-------- (1986), Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No.10), Perusahaan Jawatan Kereta Api.

-------- (1986), Penjelasan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel, Perusahaan Jawatan Kereta Api.

-------- (1980), Railway Track Design: A Review of Current Practice, Bureau of Transport Economics, Canberra.

-------- (----), Track Maintenance, Japan International Cooperation Agency – Japanese National Railways.

Arora, N.L., (1980), A Text Book of Railway Engineering, India Publishing House, Delhi.

Bindra, S.P., dan Bindra, K. (1976), Elements of Bridge, Tunnel and Railway Engineering, Dhapat Rai & Sons, Delhi.

Carpenter, T.G. (1996), The Environmental Impact of Railways, John Wiley & Sons,West Sussex.

Hay, W.W, (1982), Railroad Engineering, John Wiley & Sons, New York.

Honing, J. (1975), Ilmu Bangunan Jalan Kereta Api, Pradnya Paramita, Jakarta.

Mundrey, J.S. (2000), Railway Track Engineering Third Edition, Tata McGraw-Hill, New Delhi.

Shadrin N, Perelman, L. Repryev, A., Smagin, I., Ulkrikh, S., (--), Railway Construction (translated from Russian by Leib,G.), Peace Publisers, Moscow.

Shahani, P.B., (1978), Railway Techniques, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.

Subarkah, I. (1981), Jalan Kereta Api, Idea Dharma, Bandung.

Subiyanto, M. (1982), Dinamika Kendaraan Rel Bagian Ke II, C.V. Komala, Bandung.

Vazirani, V.N., Chandola, S.P. (1981), Transportation Engineering Vol.I., Khanna Publisers, Delhi.